

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“MODELO DIGITAL DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS
FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA - PERÚ”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

MASAO NAKADA BEDRIÑANA

LIMA – PERÚ

2022

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“MODELO DIGITAL DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS
FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA - PERÚ”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

MASAO NAKADA BEDRIÑANA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Zoila Aurora Cruz Burga, Dr.
Presidente

Ing. Rosa María Hermoza Espezúa
Miembro

Ing. Carlos Rafael Vargas Salas
Miembro

Ing. Ethel Rubin de Celis Llanos, Dra.
Asesor

DEDICATORIA

A todas las personas que contribuyen a la conservación de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

A la Sala de Observación del Perú de la Facultad de Ciencias Forestales por el uso de sus instalaciones.

A la profesora Ethel Rubin de Celis por su enseñanza, preocupación por mi futuro profesional y mi guía para la elaboración de la tesis.

A la profesora Rosa María Hermoza Espezúa, por sus comentarios y su buena disposición a atender mis consultas.

A los especialistas Marco Antonio Arenas de SERNANP, Luis René Vallenás de INDECI, Blanca Ponce Vigo de SERFOR, Alejandra Zamora Ríos de OTCA PERU, Viller Flores Huillca de SERNANP y Cesar Gino Rodríguez de SERNANP por sus conocimientos dados en las entrevistas.

Al profesor Hugo Luna del Departamento de Economía por orientarme en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y por facilitarme la planilla de Excel AHP.

A mis padres y mi hermano por ser mi alegría y soporte del día a día.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de anexos.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. Introducción.....	1
II. Revisión de Literatura.....	4
2.1 Fuego.....	4
2.2 Incendios forestales.....	4
2.3 Amenaza.....	5
2.4 Vulnerabilidad.....	6
2.5 Componentes de la vulnerabilidad.....	7
2.6 Sistema de informacion geográfica.....	8
2.7 Modelo.....	12
2.8 Modelamiento cartográfico.....	13
2.9 Rol del SIG en el análisis de vulnerabilidad.....	13
2.10 Proceso de análisis jerárquico.....	14
2.11 Normalización.....	16
2.12 Estudios previos de vulnerabilidad a incendios forestales.....	17
III. Materiales y Métodos.....	21
3.1 Área de estudio.....	21
3.1.1 Ubicación geográfica.....	21
3.1.2 Clima.....	22
3.1.3 Contexto biológico.....	22
3.2 Material y equipos.....	23
3.2.1 Materiales.....	24
3.2.2 Software.....	24
3.2.3 Equipo.....	24
3.3 Metodología.....	25

3.3.1	Identificación de los factores de vulnerabilidad por incendio forestal en la provincia de cajamarca	26
3.3.2	Recopilar la información digital de los factores de vulnerabilidad por incendios forestales de la provincia de Cajamarca.....	27
3.3.3	Normalización	31
3.3.4	Ponderación de los factores mediante el método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP siglas en inglés)	35
3.3.5	Modelo del análisis de vulnerabilidad de la cobertura forestal	36
IV.	Resultados y discusión.....	39
4.1	Factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal a los incendios forestales en la provincia de Cajamarca.....	39
4.2	Recopilar la información digital en shapefile de los factores de vulnerabilidad por incendios forestales de la provincia de Cajamarca.....	40
4.3	ponderación de los factores mediante el método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)	50
4.4	mapa de vulnerabilidad por incendios forestales en la provincia de Cajamarca	51
V.	Conclusiones.....	55
VI.	Recomendaciones	56
VII.	Bibliografía.....	57
VIII.	Anexos.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Escala de ponderación de la importancia	15
Tabla 2: Matriz de comparación par a par	15
Tabla 3: Resumen de las variables relacionadas con incendios forestales identificadas en la bibliografía	20
Tabla 4: Normalización de la información temática de cobertura vegetal.....	32
Tabla 5: Normalización de la información temática de accesibilidad	32
Tabla 6: Normalización de la información temática de pendiente	33
Tabla 7: Normalización de la información temática de combustibilidad	33
Tabla 8: Normalización de la información temática de precipitación media anual ..	34
Tabla 9: Normalización de la información temática de temperatura.....	34
Tabla 10: Normalización de la información temática de centros poblados	35
Tabla 11: Factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal.....	39
Tabla 12: Cobertura vegetal de la provincia de Cajamarca.....	41
Tabla 13: Combustibilidad de la provincia de Cajamarca	42
Tabla 14: Susceptibilidad de la variable temática temperatura	44
Tabla 15: Precipitación de la provincia de Cajamarca	45
Tabla 16: Susceptibilidad de la variable temática pendiente.....	47
Tabla 17: Resultado de los pesos de cada factor de vulnerabilidad de la cobertura forestal	51
Tabla 18: Grado de vulnerabilidad para la provincia de Cajamarca.....	51

ÍNDICE DE FIGURA

Página

Figura 1:	Modelo Raster y vectorial de un SIG.....	10
Figura 2:	DEM de la provincia de Cajamarca	12
Figura 3:	Mapa distrital de la provincia de Cajamarca.....	21
Figura 4:	Datos climatológicos de la provincia de Cajamarca	22
Figura 5:	Flujograma de la metodología	25
Figura 6:	Diagrama del procesamiento de datos.....	30
Figura 7:	Modelo conceptual de la vulnerabilidad de la cobertura forestal.....	36
Figura 8:	Modelo del análisis de vulnerabilidad de la cobertura forestal	38
Figura 9:	Mapa de cobertura vegetal.....	41
Figura 10:	Mapa de combustibilidad.....	43
Figura 11:	Mapa de precipitación.....	46
Figura 12:	Mapa de temperatura	44
Figura 13:	Mapa de pendiente	47
Figura 14:	Mapa de accesibilidad.....	48
Figura 15:	Mapa de centros poblados	50
Figura 16:	Vulnerabilidad a incendios forestales en la provincia de Cajamarca	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1:	Lista de Especialistas entrevistados.....	61
Anexo 2:	Formulario para entrevista	62
Anexo 3:	Mapas con valores normalizados.....	¡Error! Marcador no definido.5

RESUMEN

Los estudios de vulnerabilidad de la cobertura forestal son escasos en Perú por eso se llevó a cabo un análisis de la vulnerabilidad de la cobertura forestal de la provincia de Cajamarca que puede ser usado en diversas estrategias de protección y prevención de riesgos de incendios en la región. El estudio se localiza en esta región por tener registros de incendios forestales y la disposición de información para el estudio. Se evaluó la ponderación del método de análisis jerárquico, se elaboró un modelo para identificar las zonas vulnerables forestales por incendio forestal y se aplicó el modelo para identificar las zonas con vulnerabilidad forestal en la provincia de Cajamarca. Se identificaron seis factores de vulnerabilidad como son: tipo de cobertura vegetal, pendiente, centros poblados, accesibilidad, clima y combustible. Asimismo, se determinó que todos los distritos de la provincia de Cajamarca presentan zonas de vulnerabilidad alta, siendo la agricultura de la costa y sierra de la provincia, el principal contribuyente a este resultado (43,5% de la vulnerabilidad alta). Por su parte, los bosques de montaña, xéricos interandinos y montanos occidental de la provincia de Cajamarca se clasificaron con vulnerabilidad moderada.

Palabras claves: Proceso de Análisis Jerárquico, Sistemas de Información Geográfica, Normalización, fuego.

ABSTRACT

Vulnerability of forest cover studies are scarce in Peru, in order of that we carried out this approach to the analysis of forest vulnerability in the province of Cajamarca, which can be used in fire protection and prevention strategies in the region. The study is located in this region because it has forest fire records and the availability of information for the study. The weighting of the hierarchical analysis process method was evaluated, a model was constructed to identify forest vulnerable areas by forest fire and the model was applied to identify areas with forest vulnerability in the province of Cajamarca. In total, six vulnerability factors were identified, these being climate and combustibility factors (23% for both). Likewise, it was determined that all the districts of the province of Cajamarca present areas of high vulnerability, with agriculture on the coast and mountains of the province being the main contributor to this result (43.5% of high vulnerability). On the other hand, the mountain, inter-Andean xeric and western montane forests of the Cajamarca province were classified as moderately vulnerable.

Key words: Analysis hierarchical process, Geographic Information Systems, Standardization, fire.

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se consideran una perturbación importante en los ecosistemas forestales, y a escala regional y local los incendios también tienen importantes implicaciones socioeconómicas que afectan tanto a las vidas humanas como a infraestructura (Eskandaria y Chuvieco, 2005). Estos incendios se producen como resultado de actividades humanas, principalmente por deforestar los bosques para convertir la tierra a usos agropecuario, limpias de cultivos y apertura de nuevos asentamientos rurales (Sabuco Cárdenas, 2013 y D.M & P.O, 2006).

El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR (2018) indica que en el Perú la ocurrencia de la mayoría de los incendios forestales es de origen antrópico, ya que una de las causas principales está relacionada con actividades de habilitación de chacras de cultivo y quema de pastos. El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas – SERNANP (2018) menciona que esta acción antrópica, realizada en distintos ecosistemas, tiene efectos negativos desde el ámbito local hasta el global. La pérdida de biodiversidad y la degradación a nivel del paisaje producen un incremento de la desertificación, la erosión del suelo, inundaciones, entre otros fenómenos a gran escala.

El departamento de Cajamarca registró 23 incendios forestales para el año 2016, la pérdida de cobertura vegetal fue de mayor magnitud con un área afectada de 27 561 hectáreas, seguido de Cusco con un área de 16 355 hectáreas, siendo ese año con mayor registro de incendios en el Perú (SERFOR, 2018). Por lo tanto, resulta importante contar con herramientas para el conocimiento y gestión de los incendios forestales, como es el uso de tecnologías de información geográfica (Chuvieco, 2007; Chuvieco et. al., 2014).

Los incendios forestales generan pérdidas graves y cuantiosas, las consecuencias son muy negativas sobre los recursos naturales, debido a que destruyen la vegetación, matan la fauna silvestre, eliminan la vida en el suelo, contaminan las aguas y finalmente dañan el aire

atmosférico. Los incendios cambian el paisaje de forma radical de un bosque. La vida vegetal, animal y humana se transforma, y en cientos de años no puede recuperarse y volver a su estado primigenio. Los efectos negativos de un incendio duran años y cambia la vida de las personas que habitan en la zona afectada (SERFOR, 2018). Adicionalmente, en nuestro país existe una costumbre comúnmente denominada “quemadas”, que no sobrepasan una hectárea y media en promedio, pero en conjunto han conducido a una acelerada pérdida de la superficie boscosa (Manta & León, 2004).

Un sistema de información geográfica se pueden generar mapas de vulnerabilidad con la finalidad de constituirse en una herramienta de análisis que permitirá tomar decisiones políticas y técnicas para disminuir pérdidas económicas, recursos naturales y vidas humanas (MINAM, 2011). Hasta el año 2017, únicamente el departamento de Apurímac contaba con un Plan de Gestión del Riesgo de Incendio Forestal, presentando un mapa de vulnerabilidad por incendio forestal (Gobierno Regional de Apurímac, 2017).

Existe una importancia y necesidad actual de contar con conocimientos y herramientas para el desarrollo de métodos de construcción de modelos de vulnerabilidad ante los incendios forestales en la provincia de Cajamarca. Esto contribuirá en la gestión de prevención ante un incendio forestal orientado a la conservación de los recursos naturales, a disminuir la afectación de los servicios ecosistémicos aprovechados por la comunidad y a reducir el número de damnificados de las poblaciones.

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es proponer un modelo para identificar la vulnerabilidad de la cobertura forestal en la provincia de Cajamarca. Además, que pueda ser replicable en otros departamentos con características similares (altitud y relieve) y así contribuir con la conservación de los recursos forestales. Los objetivos planteados son: identificar los posibles factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal por los incendios forestales; recopilar la información digital en forma vectorial (shapefile) de los factores de vulnerabilidad por incendios forestales; evaluar la ponderación de los factores mediante el

método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP); y elaborar el mapa de vulnerabilidad por incendios forestales aplicando el modelo propuesto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 FUEGO

El fuego es el resultado del proceso químico denominado combustión (Malpartida , 2016).

El Instituto Nacional de Defensa Civil (2006) lo define como una reacción química de oxidación en los materiales combustibles, es decir con liberación y desprendimiento de energía en forma de luz y calor producido por la combustión de materiales.

El Ministerio de Medio Ambiente (2007) de Colombia, señala que el fuego es un fenómeno que se produce cuando se le aplica calor a un cuerpo combustible (en este caso materia vegetal) en presencia del aire. Para que el fuego se inicie o se mantenga es indispensable la concurrencia en el mismo sitio y al mismo tiempo de estos tres elementos, pero a su vez se requiere que haya una reacción en cadena que los haga interactuar entre sí. Si al menos uno de ellos falta, no es posible que se origine el fuego, estos componentes son:

- Suficiente combustible (árboles, arbustos, pajonales) con un contenido de humedad tan bajo, que les permita arder.
- Suficiente oxígeno (aire) para que el fuego se propague.
- Temperatura alta y propicia para que el fuego se expanda (calor).

2.2 INCENDIOS FORESTALES

Manta y León (2004) afirman que incendio forestal se refiere a aquellos fuegos que ocurren sobre la vegetación que crece en tierras de producción forestal (F) y tierras de protección (X). Así mismo, se denomina pequeños incendios a aquellos menores de 1,5 ha. Según INDECI (2006), un incendio forestal es la propagación libre y no programada del fuego sobre la

vegetación, en los bosques, selvas y zonas áridas o semiáridas. El incendio forestal, si encuentra condiciones apropiadas para su expansión, puede recorrer extensas superficies produciendo graves daños ecológicos, económicos y sociales (INDECI, 2006 y SERFOR, 2018).

Resulta necesario indicar que en nuestro país existe una actividad ampliamente distribuida denominada “la quema”. Esta actividad constituye una práctica cotidiana que ocurre en tierras de aptitud agrícola y pecuaria; sin embargo, su uso se ha hecho muy intensivo con la finalidad de la ampliación de la frontera agrícola. Así los pequeños incendios intencionados, comúnmente denominados “quemados”, no sobrepasan una hectárea y media en promedio, pero en conjunto han conducido a una acelerada pérdida de la superficie boscosa (Manta & León, 2004).

En la sierra y la selva del Perú, la presencia de fuego se debe principalmente a la práctica masiva de realizar quemados. La época usual para esta práctica es entre julio y diciembre, la que coincide con la época seca o verano regional y donde se encienden tanto pastos, purmas, como bosques recién tumbados (MINAM, 2011). Por ejemplo, la quema de pastos como actividad ancestral como parte de la expansión agrícola que origina el cambio de uso de suelo (SERFOR, 2018).

2.3 AMENAZA

La amenaza es un evento físico que representa la posible manifestación de un fenómeno particular de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental (IDEAM, 2011 y EIRD, 2009). Para INDECI (2009), se considera *amenaza* como un peligro latente.

CENEPRED (2018) define la amenaza como la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

2.4 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad se define como el grado de debilidad o exposición de un elemento y la fragilidad de elementos expuestos al peligro, resultando en daños humanos y materiales (Gómez, 2001 y INDECI, 2006).

El Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, 2001) define la vulnerabilidad como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a efectos adversos del cambio climático, incluyendo variabilidad climática y eventos extremos.

En el contexto de la ocurrencia de desastres, la vulnerabilidad se define como la probabilidad de que, debido a la intensidad de un evento externo y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente (Zapata, 1999)

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011) indica que la vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento pueda sufrir daño.

La vulnerabilidad, es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido lo suficiente en obras o acciones de prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado alto (INDECI, 2006).

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso (INDECI, 2006).

Según INDECI (2006) la vulnerabilidad ambiental y ecológica es el grado de resistencia del medio natural y de los seres vivos que conforman un determinado ecosistema, ante la presencia de la variabilidad climática. La presente investigación está en el marco de este concepto pero el análisis se enfocó en la cobertura vegetal.

2.5 COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD

Según Rodríguez y Calderón (2017) la vulnerabilidad es función de tres componentes principales: la exposición ante amenazas naturales, socio-naturales o antrópicas; la sensibilidad o fragilidad de los elementos expuestos; y la capacidad de adaptación o resiliencia.

a. Exposición

Se refiere al nivel donde ecosistemas, población, infraestructuras y sistemas de producción se encuentran en zonas de incidencia potencial de las amenazas. También se define como el tiempo y modo de sometimiento de un ecosistema a un cambio externo (Gómez, 2001).

b. Fragilidad

Es el nivel de susceptibilidad intrínseca de los elementos expuestos a ser afectados por una magnitud estimada de la amenaza.

La fragilidad, está referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro. En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno (CENEPRED, 2018).

c. Resiliencia

Capacidad del sistema para ajustarse al cambio externo, moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias (IPCC, 2001). También es definida como la posibilidad de las comunidades para atender, asumir, recuperarse y adaptarse ante grandes variaciones en sus condiciones normales de vida, producto de un desastre.

2.6 SISTEMA DE INFORMACION GEOGRÁFICA

Un Sistema de Información Geográfica (en adelante SIG) es un conjunto de procedimiento que permite analizar, procesar, interrelacionar y mapear características que cumplan con la condición de ser variables referenciales o georreferenciables (Ponce, 2008).

Las funciones principales del SIG son la entrada, almacenamiento, representación, análisis de datos, así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares) (Burrough, 1986 y Valenzuela, 1989).

2.6.1. ELEMENTOS DE UN SIG

Barreto (1996) indica que el SIG está estructurado por cuatros elementos fundamentales que son: hardware, software, datos y el usuario.

a. Hardware

Es el componente físico del sistema que compone de un ordenador (PC, estación de trabajo, etc.) y su complemento de entrada (lectora, escáner, etc.) y salida (monitor, impresora, etc.).

b. Software

Conjunto de programas que permite al hardware realizar funciones como almacenar, analizar y desplegar la información geográfica.

c. Datos

Elemento que constituye información geográfica pues conforman la base de todo el sistema. La estructura de la base de datos espaciales puede ser representada de dos formas: el modelo vectorial y modelo raster. (Bernhardsen, 2002).

El modelo raster funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen; es decir, se pueden relacionar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada, (Bernhardsen, 2003).

El modelo vectorial almacena tres objetos cartográficos básicos: puntos, líneas y polígonos, los mismos que se almacenan como una colección de coordenadas x,y. La ubicación de una característica puntual (casas, núcleos de población), pueden describirse con un solo punto x,y. Las características lineales (vías, curvas de nivel, ríos), pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x,y. Las características poligonales (limites administrativos, parcelas), pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas, (Musso y Cotos, 2005).

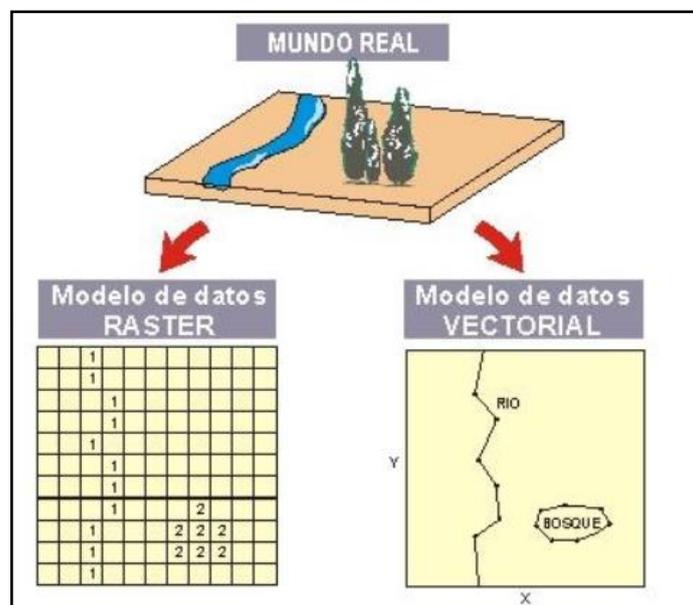


Figura 1: Modelos Raster y vectorial de un SIG
 Fuente: Conde (2010)

d. Usuario

Son las personas que se encargan de administrar el sistema, así como de desarrollar un proyecto basado en el mundo real, entre los que se involucran analistas, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios.

2.6.2. ALGUNAS FUNCIONES DEL SIG

Franco (2008) menciona algunas funciones del SIG:

Consulta: Selección de objetos de un mapa o capa, la respuesta (información) se brinda en la parte geográfica como en la información alfanumérica. Otra función de un nivel de complejidad básico lo constituye la reclasificación, la cual permite cambiar o reorganizar los rangos o valores asignados en un mapa.

Operaciones Geográficas:

- **Fusionar:** Permite que dos capas de un mismo tipo temático se fusionen en una sola.
- **Limitar:** Restringe la información de una capa excluyente al contorno seleccionado. Útil, por ejemplo, para extraer un tipo de bosque de un determinado territorio.
- **Intersección:** Es una superposición vectorial, donde genera una tercera capa que contiene el área en común de dos polígonos. Útil para la generación de mapas en conflicto.

Análisis de superficie: Una superficie puede ser representada por un modelo digital de elevación (DEM) que es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (Figura 2). Mediante una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular.

En términos generales, el DEM representa la distribución espacial de los atributos del terreno. (Moore et al. 1991 y Li et al. 2007) que mediante la extracción de variables a partir de algoritmos morfométricos podemos obtener medidas descriptivas de las geoformas superficiales: pendiente, orientación (Pike et al. 2009).

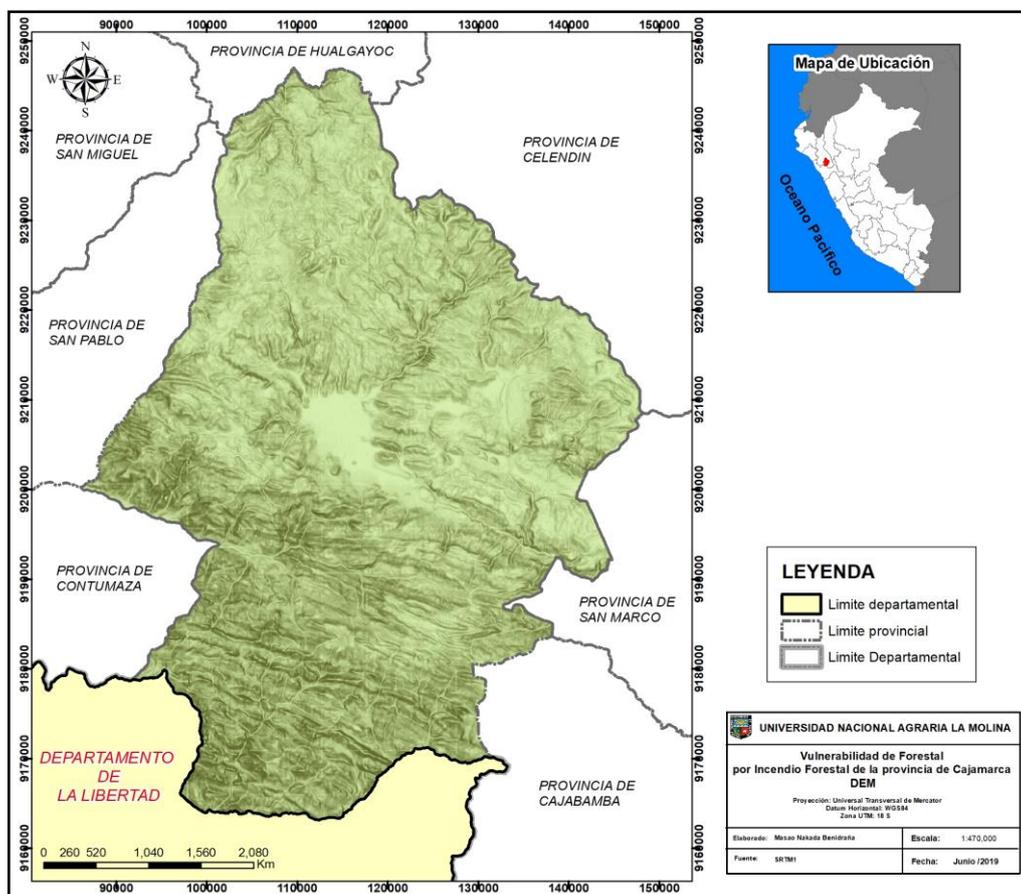


Figura 2: Modelo digital de elevación de la provincia de Cajamarca.

2.7 MODELO

Un modelo puede ser una representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto, sistema, proceso, actividad o pensamiento; destaca las características que el modelador considera más importantes del fenómeno en cuestión, por lo que se emplea para analizar exhaustivamente cada una de sus relaciones e interacciones, y con base en su análisis, predecir posibles escenarios futuros para dicho fenómeno (García, 2008). Así, un modelo puede describirse

como una representación simplificada de un sistema real, y es en esencia, una descripción de entidades y la relación entre ellas (García, 2008).

2.8 MODELAMIENTO CARTOGRÁFICO

Tomlin (2008) define al modelamiento cartográfico como un conjunto de operaciones de análisis utilizando mapas que actúan como una pila cuyo fin es procesar decisiones de tipo espacial. Es la expresión detallada de la manipulación de los datos utilizando las funciones del software SIG, para la producción de nueva información que será almacenada en el computador, de manera permanente como nuevas entidades, o de manera virtual para análisis determinados.

Franco (2008) lo describe como la aplicación secuencial de una serie de instrucciones para realizar un análisis concreto. Se genera una especie de algebra espacial donde cada procesamiento individual es la solución de un paréntesis y el producto final es el resultado. Es por esta razón, elaborar un diagrama de flujo que muestre las especificaciones de los pasos y operaciones a seguir, permite llegar al resultado final deseado. Es así como bajo estos modelamientos se pueden desarrollar una serie de aplicaciones simples y complejas tales como: localizaciones óptimas, generación de indicadores de calidad, ordenamientos territoriales, análisis de impactos y evaluaciones, etc.

2.9 ROL DEL SIG EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

El SIG es una herramienta que ayuda a entender el comportamiento del fuego y estructurar actividades de prevención (Marchi, y otros, 2008). El SIG puede salvar vidas, prevenir el daño de propiedades y preservar los recursos naturales. Por lo tanto, juega un rol importante

generando mapas y documentando los incendios, prediciendo su trayectoria, analizado las estrategias de combate de los incendios (IDEAM, 2011 y Malpartida , 2016)

La aplicación de los SIG en el control de incendios forestales facilita la calidad de resultados que se obtienen después de procesar datos obtenidos en campo, digitalizando diversos modelos digitales del terreno (Álvarez, 2000).

2.10 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

El proceso de análisis jerárquico (AHP en adelante por siglas en inglés) es un método matemático, desarrollado a finales de los años 60 por Thomas Saaty, creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso (Gómez & Cabrera, 2008).

El AHP descansa en el hecho de que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por Saaty (1980), que va desde uno hasta nueve como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de ponderación de la importancia

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Extremadamente
Menos importante				Igual de importancia	Más importante			

Fuente: Saaty (1980)

El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones.

Esta técnica se basa en una matriz cuadrada de comparación entre los criterios (Tabla 2), donde las filas y columnas están dispuestos los criterios según el mismo orden.

Para determinar la ponderación o el nivel de importancia de cada factor, se deberá seguir los siguientes pasos:

- i. Construcción de la matriz par a par

Tabla 2: Matriz de comparación par a par

FACTOR	a	b	c	d
A	1			
B	b,a	1		
C	c,a	b,c	1	
D	d,a	d,b	d,c	1

Fuente: Ramos (2000)

ii. Sintetización de juicios

Según Toskano (2005), la sintetización de juicios se realiza para establecer la prioridad (ponderación o nivel de importancia de los factores) de cada uno de los elementos que se comparan en la matriz de comparación por pares (Tabla 2). El proceso matemático para realizar la sintetización implica el cálculo de los valores y vectores característicos, el cual se logra a través del siguiente procedimiento:

Paso 1: Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparaciones pareadas.

Paso 2: Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna. A la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

Paso 3: Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan, dando como resultado la ponderación final.

Limitaciones del proceso de análisis jerárquico

Zanazzi (2003) menciona que si la estructura jerárquica del proceso de decisión se encuentra mal diseñada o no se considera factores importantes para la investigación, los pesos de los criterios pueden distorsionarse, causando errores en los resultados obtenidos.

2.11 NORMALIZACIÓN

El proceso de normalización de los factores de vulnerabilidad consiste en transformar todos los valores de la información digital (valores no comparables entre sí), a una misma escala.

Este proceso viabiliza la agregación de estos criterios y posteriormente, la respectiva combinación (Ramos, 2000).

La normalización de los criterios en SIG es obtenida a través de la función de reclasificación. En una función de reclasificación los valores de una matriz son alteradas en función de un conjunto de condiciones” (Matos, 2008).

2.12 ESTUDIOS PREVIOS DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS FORESTALES

A nivel global Chuvieco et al. (2014) desarrollaron un mapa de la vulnerabilidad por el fuego que estima el daño potencial de los incendios forestales a los ecosistemas globales. Se consideraron tres componentes de vulnerabilidad: la riqueza y la fragilidad ecológica, la provisión de servicios ecosistémicos y el valor de las casas en la interfaz urbano-forestal. Los valores ecológicos se estimaron a partir de la relevancia de la biodiversidad, el estado de conservación y la fragmentación. El retraso de la regeneración ecológica se estimó a partir de la adaptación a los incendios y el potencial de erosión del suelo. El valor de las casas se estimó a nivel de país de acuerdo con los precios de mercado de bienes raíces y terrenos, el nivel de desarrollo económico y la densidad poblacional. En conclusión, se encontró que las áreas más vulnerables eran las selvas tropicales de la cuenca del Amazonas, África central y el sudeste asiático; la selva templada de Europa, América del Sur y el noreste de América, y los corredores ecológicos de América Central y del sudeste asiático.

A nivel más específico, Vargas y Campos (2018) realizaron un estudio en el Área de Conservación Guanacaste (ACG) en Costa Rica con la finalidad de implementar un modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales que permita definir áreas prioritarias para el control del fuego. El modelo se diseñó integrando componentes ecológicos como calidad visual y

biodiversidad, y componentes socioeconómicos como infraestructura y servicios ecosistémicos presentes en el ACG. Dentro de sus resultados encontraron que en las áreas más vulnerables a incendios forestales en el ACG existe una presencia alta de especies de alto valor ecológico y mayor desarrollo de servicios ecosistémicos.

Por su parte, Guzmán y Rodríguez (2008) realizaron un modelo espacial para evaluar el riesgo y la vulnerabilidad a incendios forestales en un área representativa del Parque Nacional Tunari en el departamento de Cochabamba, Bolivia. Se empleó básicamente el método de Análisis Espacial Multicriterio y la estructura del índice de peligro de incendios forestales incluye tres componentes: combustibles forestales que tienen una alta o baja densidad de cobertura; componente meteorológico, que se estructuró con la integración de la temperatura superficial, la precipitación total mensual y vientos predominantes. Por último, el componente de causa derivado de la evaluación de elementos socioculturales y de uso del suelo. Como resultado obtuvieron que los valores finales del índice de riesgo y vulnerabilidad mantienen un buen nivel de correlación entre dicho índice y los incendios que se producen por el aumento de vientos y por la época seca que aprovechan los pobladores para realizar barbechos.

Alvarez Rogel (2000) menciona en su investigación sobre el riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña – Gebas, España que las variables utilizadas para el análisis de riesgo de incendios forestales son: el relieve, el clima (precipitación, temperaturas, humedad relativa y vientos), condiciones bioclimáticas, cubierta vegetal, frecuencia y magnitud de incendios forestales, factor antrópico. Concluyen que la cartografía de incendios obtenida a través de SIG, permite clasificar un territorio en niveles de riesgo, localizados con bastante precisión geográfica.

Laura et al. (2012), propusieron demostrar que los incendios forestales están relacionados con la influencia humana y las condiciones ambientales pudiendo plasmar la influencia de éstos en

un índice de peligro de incendios forestales, considerando también la distribución espacial de los incendios forestales en el estado de Puebla, México. Se evaluó y construyó un modelo de regresión logística donde las variables significativas fueron: precipitación media anual, exposición del terreno y número de ramales de vías de comunicación, todas con correlación positiva, y número de comunidades rurales con correlación negativa. Como resultado obtuvieron que el mayor peligro de incendio para el estado de Puebla se distribuye en zonas que registran mayores precipitaciones, mayor número de ramales y menor número de comunidades.

En Perú, Malpartida (2016) identificó el nivel de riesgo a incendios forestales de la provincia de Satipo, Junín. En este estudio se identificaron variables necesarias para la elaboración de los submodelos de peligro antrópico, peligro y vulnerabilidad naturales. La metodología empleada fue la que propone el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) que empleó la evaluación multicriterio a las variables identificadas, aplicando la técnica compensatoria aditiva mediante el método de las jerarquías analíticas (MJA). Entre sus principales conclusiones afirma que las condiciones de temperatura y precipitación influyen sensiblemente en el riesgo. Asimismo, las áreas con alto riesgo de incendio son colindantes a áreas urbanas y rurales.

El Gobierno Regional de Apurímac (2017) analizó la vulnerabilidad de la Región Apurímac a los incendios forestales en términos de la exposición, susceptibilidad y la capacidad de respuesta tanto del hombre, así como del patrimonio forestal y de fauna silvestre y de los recursos forestales. Entre sus principales hallazgos afirman el incremento de temperatura continua, produciría un incremento de la transpiración de las plantas lo que daría lugar a mayores tasas de evapotranspiración, haciéndolos más inflamables y vulnerables al fuego.

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED, 2020) analizó escenario de riesgos por incendios forestales a nivel nacional y a su vez actualizar el documento “Caracterización del peligro por incendio forestal”. Como resultado principal el escenario de riesgos por incendios forestal muestra que el 8.6% del territorio nacional está expuesta a riesgo alto. Así mismo el 6.4% está expuesto a riesgo alto.

Tabla 3: Resumen de las variables relacionadas con incendios forestales identificadas en la bibliografía

N°	Variables	Autores
1	Riqueza ecológica	Chuvieco (2014)
2	Provisión de servicio ecosistémicos	Chuvieco (2014), Vargas y campos (2018)
3	Calidad visual y biodiversidad	Vargas y campos (2018)
4	Componente socioeconómico	Vargas y campos (2018)
5	Infraestructura	Vargas y campos (2018), Chuvieco (2014)
6	Cubierta vegetal	Álvarez (2000), Malpartida (2017), Guzmán y Rodríguez (2008)
7	Combustibilidad	Guzmán y Rodríguez (2008), Malpartida (2017)
8	Temperatura	Guzmán y Rodríguez (2008) Álvarez (2000), Malpartida (2017)
9	Precipitación	Guzmán y Rodríguez (2008), Álvarez (2000), Laura (2012), Malpartida (2017)
10	Vientos	Guzmán y Rodríguez (2008), Álvarez (2000)
11	Uso de suelo	Guzmán y Rodríguez (2008)
12	Relieve	Álvarez (2000), Malpartida (2017)
13	Humedad relativa	Álvarez (2000), Malpartida (2017)
14	Frecuencias de incendio forestal	Álvarez (2000)
15	Exposición del terreno	Laura (2012)
16	Número de comunidades rurales	Laura (2012)
17	Accesibilidad	Malpartida (2017), Laura (2012)
18	Altura	Malpartida (2017)

Fuente: Elaboración propia

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La provincia de Cajamarca está ubicada en la sección meridional del departamento de Cajamarca entre las coordenadas geográficas 7°09'25'' S y 78°31'03'' O (Figura 3). Cuenta con una superficie de 2 979,78 km², que corresponde al 0.23% del territorio nacional. Limita por el norte con la provincia de Hualgayoc, por el este con la provincia de Celendín y San Marcos, al sur con la provincia de Cajabamba y el departamento de la Libertad y por el oeste con la provincia de San Pablo y Contumazá (INEI, 2008).

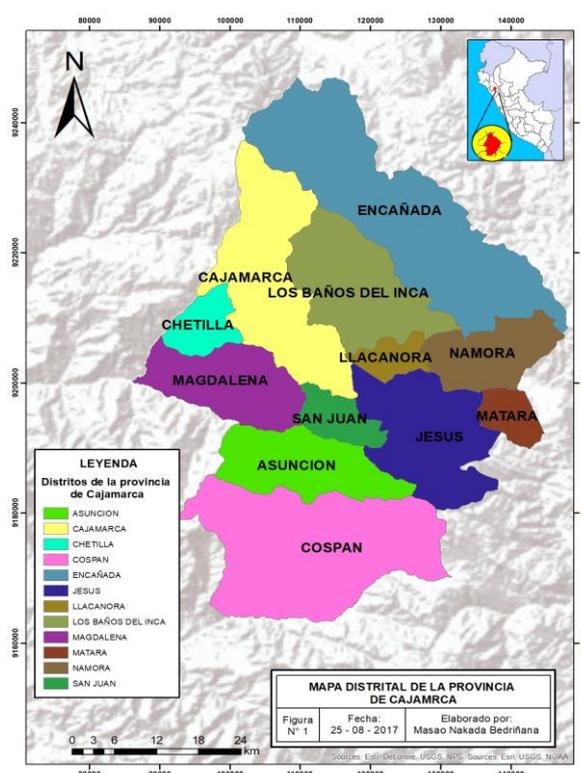


Figura 3: Mapa distrital de la provincia de Cajamarca

3.1.2 CLIMA

En la provincia de Cajamarca, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 22 °C. La temporada con mayores precipitaciones dura 6,7 meses, siendo marzo con mayor intensidad de lluvias (118,78 mm/mes). Por otro lado, la temporada más seca dura 5,3 meses siendo el mes más seco julio (6,06 mm/mes) (SENAMHI 2019) (Figura 4).

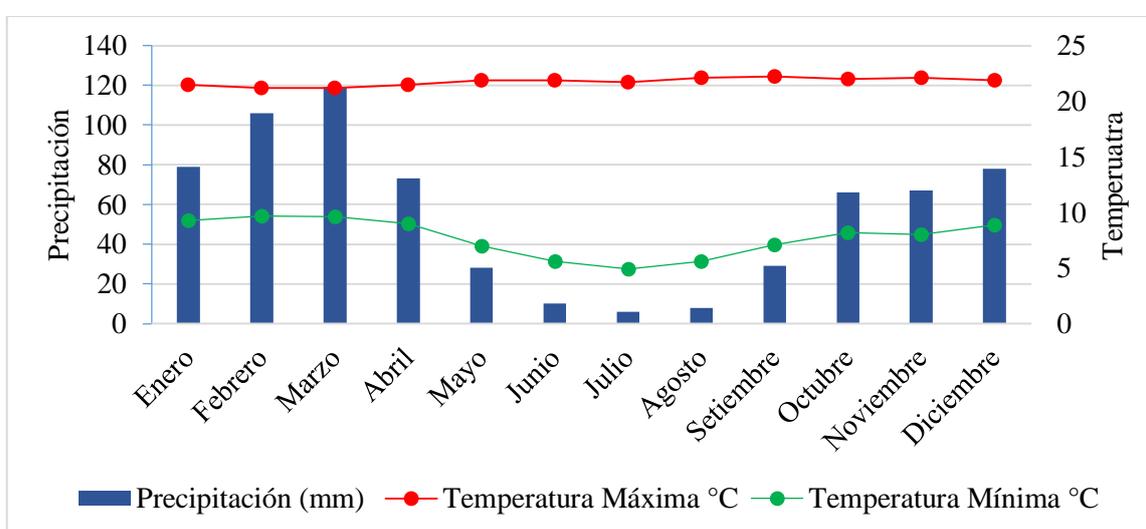


Figura 4: Datos climatológicos de la provincia de Cajamarca
Fuente: SENAMHI (2019)

3.1.3 CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA

De acuerdo con los criterios de clasificación ecológica basada en Zonas de Vida desarrollados por Holdridge (1978), el cual estratifica las zonas ecológicas sobre la base de parámetros de temperatura, precipitación, altitud y latitud. La provincia de Cajamarca presenta 5 zonas de vida que son: Bosque húmedo Montano Tropical (bh-MT), Bosque seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT), Páramo pluvial Sub Alpino Tropical (pp-SAT), Páramo muy húmedo Sub

Alpino Tropical (pmh-SAT) y Tundra pluvial Alpino Tropical (tp-AP). Ellas se plasman en el Mapa Ecológico elaborado por INRENA (1995).

3.1.4 CONTEXTO BIOLÓGICO

a. Flora

Las formaciones vegetales en Cajamarca son importantes por presentar una alta diversidad y endemismos. Dentro de las especies más representativas de flora se encuentran los árboles, como son: Quina (*Cinchona officinalis*), Romerillo, Saucecillo (*Podocarpus oleifolius*) y *Podocarpus macrostachys*, Aliso (*Alnus acuminata*), Tara (*Caesalpinia spinosa*), Molle (*Schinus molle*). Plantas en roseta o con tallos muy cortos y hojas aplicadas al suelo: *Paranephelius uniflorus*. Arbustos xeromórficos: *Diplostegium sagastegui*, *Gynoxys* sp. (Gobierno Regional de Caja marca, 2009).

b. Fauna

En los bosques de Cajamarca podemos encontrar alta variedad de fauna como colibríes endémicos como el *Colibri ventigris Phacellodomus dorsalis*, *Taphrolesbis griseiventri*, *Metallura phoebe* y *Upucerthia serrana*. Algunos de los mamíferos importantes de la zona son: Vizcacha (*Lagidium peruanum*), ratón de altura (*Calomys sorellus*) y murciélago (*Sturnira erythromos*) (Gobierno Regional de Cajamarca, 2009).

3.2. MATERIAL Y EQUIPOS

Para la recopilación y procesamiento de la información se emplearon los siguientes materiales y quipos.

3.2.1 MATERIALES

- Modelo Digital de Elevación de 30 metros (USGS, 2014).
- Mapas del Perú: Mapa político de la provincia de Cajamarca (MINAM, 2017), Mapa de cobertura vegetal (MINAM, 2015), Mapa de carreteras (MTC, 2018) y Mapa de centros poblados (MINEDU, 2018) .
- Ficha de entrevista (Anexo 2)
- Planilla de Excel de AHP (Luna, 2018)

3.2.2 SOFTWARE

- ArcGIS [software GIS]. Version 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2010.
- Microsoft Word 2013
- Microsoft Excel 2013

3.2.3 EQUIPO

- Computadora:

Procesador: Intel ® Core (TM) i3-4130 CPU @ 3,40GHz

Memoria instalada (RAM): 8.00 GB (7,88 GB utilizable)

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

3.3. METODOLOGIA

La investigación tuvo un enfoque inductivo-deductivo. La metodología para elaborar y aplicar el modelo de la vulnerabilidad de la cobertura forestal a los incendios forestales en la provincia de Cajamarca, consistió en la recopilación de información por medio de bibliografía y entrevistas dirigidas a especialistas, se adquirió y generó los factores de vulnerabilidad forestal identificados en formato digital, se analizó los criterios que influyen en la vulnerabilidad utilizando el método de proceso de análisis jerárquico, luego se estandarizó todo los valores de los criterios a un mismo rango de valores (normalización), finalmente se construyó el modelo mediante el método de Combinación Lineal Ponderada (Figura 5).

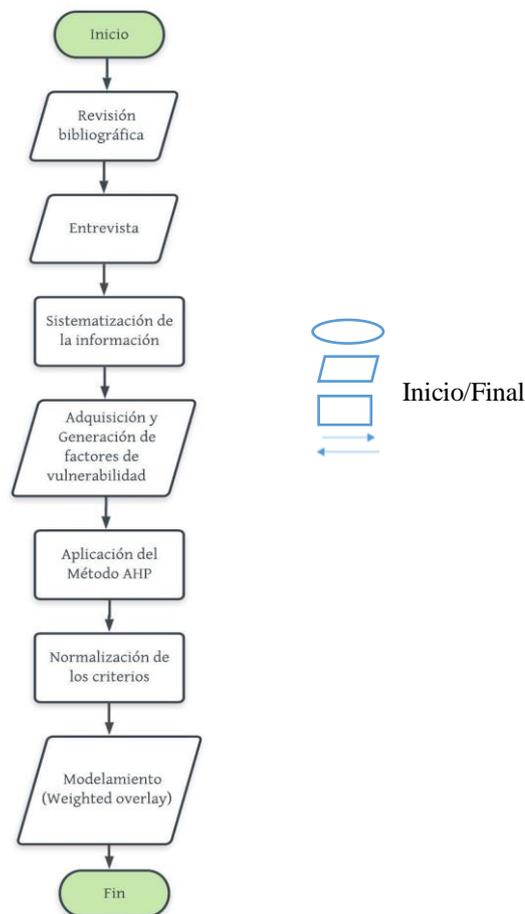


Figura 5: Flujograma de la metodología

3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD POR INCENDIO FORESTAL EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

Recopilación de información

En esta fase se recopiló información de la zona de estudio, tanto básica y temática, de diferentes libros, artículos de investigación y organizaciones, a fin de conocer los componentes de la vulnerabilidad.

Selección de los entrevistados

Se contactó con 05 especialistas (Anexo 1) de diferentes entidades públicas relacionadas a los incendios forestales en el Perú tales como Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA).

Entrevista

La entrevista estuvo organizada en cuatro partes (Anexo 2). La primera parte abordó sobre la exposición de la unidad o elemento de estudio que para esta investigación es la vegetación de la provincia de Cajamarca. La segunda parte se enfocó en la fragilidad del elemento, solicitando a los entrevistados un listado libre de las condiciones de desventaja o debilidad relacionadas a los elementos expuestos frente al incendio forestal y que expliquen el porqué de la decisión. En la tercera parte, se solicitó que mencionaran, a través de listado libre, la capacidad de respuesta del elemento expuesto para asimilar, adsorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse del impacto de un incendio forestal y también que explicaran el porqué de la decisión. Finalmente, los participantes compararon el grado de influencia de los criterios de vulnerabilidad mencionados de par en par, en función a la escala de valores brindada por Saaty (1980). La entrevista fue realizada el 10 de julio del 2018.

3.3.2 RECOPIRAR LA INFORMACIÓN DIGITAL DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS FORESTALES DE LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

La información digital para la elaboración de los mapas que representan a los factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal en la provincia de Cajamarca, fueron obtenidos de manera directa de GeoServidores oficiales del Estado Peruano.

Recopilación de información digital

a. Mapa de cobertura vegetal

La información digital de la cobertura vegetal del Perú se descargó de manera gratuita en formato vectorial (Shapefile) desde la página web del GeoServidor del Ministerio de ambiente (datos actualizados al 2017). Usando el programa ArcGIS y se delimitó al área de la provincia de Cajamarca utilizando herramienta de corte de vectores (*Clip*).

b. Mapa de accesibilidad

La información digital en formato vectorial para la accesibilidad se obtuvo mediante la descarga de la red vial departamental, red vial nacional y red vial vecinal del Geoservidor de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (datos actualizados al año 2018). Se cargó las redes viales al programa de ArcGIS y se delimitó al área de la provincia de Cajamarca utilizando la herramienta de corte de vectores (*Clip*). Finalmente, se integró al mapa político de la provincia de Cajamarca utilizando la herramienta *Unión*.

c. Mapa de combustibilidad

El mapa de combustibilidad fue elaborado a partir del mapa de cobertura vegetal obtenido en el punto a, se reclasificó los valores del mapa de cobertura vegetal de acuerdo al manual del Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal de IDEAM (2011).

Se despliega el mapa de cobertura vegetal en el programa ArcGIS, mediante la tabla de atributo del vector (Shapefile) y se reclasifica manualmente (herramienta *Field calculator*) a cada tipo de cobertura vegetal por su equivalencia de tipo de combustible, que éste representa la condición pirogénica de la vegetación.

d. Mapa de centros poblados

La información digital en formato vectorial (Shapefile) de centros poblados se obtuvo mediante la descarga de la ubicación digital como puntos de los centros poblados del Perú en el Geoservidor del Ministerio de Educación (datos actualizados al 26 de julio del 2018), dichos centros incluyen categoría de: Caserío, Ciudad, Pueblo, Villa y Anexo. Para identificar los centros poblados de la provincia de Cajamarca, se utilizó el programa ArcGIS y se seleccionó todos los centros poblados que interseca con el mapa político de la provincia de Cajamarca (herramienta *Select by location*) y se exporta como información nueva.

e. Mapa de pendiente

Para generar el mapa de pendiente se utilizó el Modelo Digital de Elevación del Sistema Radar *Shuttle Radar Topography Mission SRTM1* con una resolución espacial de 30 x 30 metros, se delimitó manualmente un cuadrante que involucre el área de estudio en la misma plataforma Web y finalmente se descargó de manera gratuita del servidor The United States Geological Survey Global Visualization Viewer (GloVis).

Para delimitar al área de estudio, se cargó el DEM al programa ArcGIS 10,1 mediante el corte del mapa político de la provincia de Cajamarca (herramienta clip). Finalmente, se calculó la pendiente de la superficie de la provincia de Cajamarca en porcentaje (herramienta *slope* - pendiente en inglés).

f. Mapa de precipitación y temperatura (clima)

El mapa de precipitación y temperatura se generó en base a la información obtenida de manera digital en formato raster del servidor WorldClim de manera gratuita, con una resolución

espacial de 1 000 x 1 000 metros. Los datos de la precipitación (mm) y temperatura (°C) corresponden al promedio anuales con un periodo entre el año 1997 a 2017 (20 años).

Para delimitar al área de estudio, se cargó el DEM al programa ArcGIS 10,1 y se cortó con el mapa política provincial de Cajamarca (herramienta *clip*).

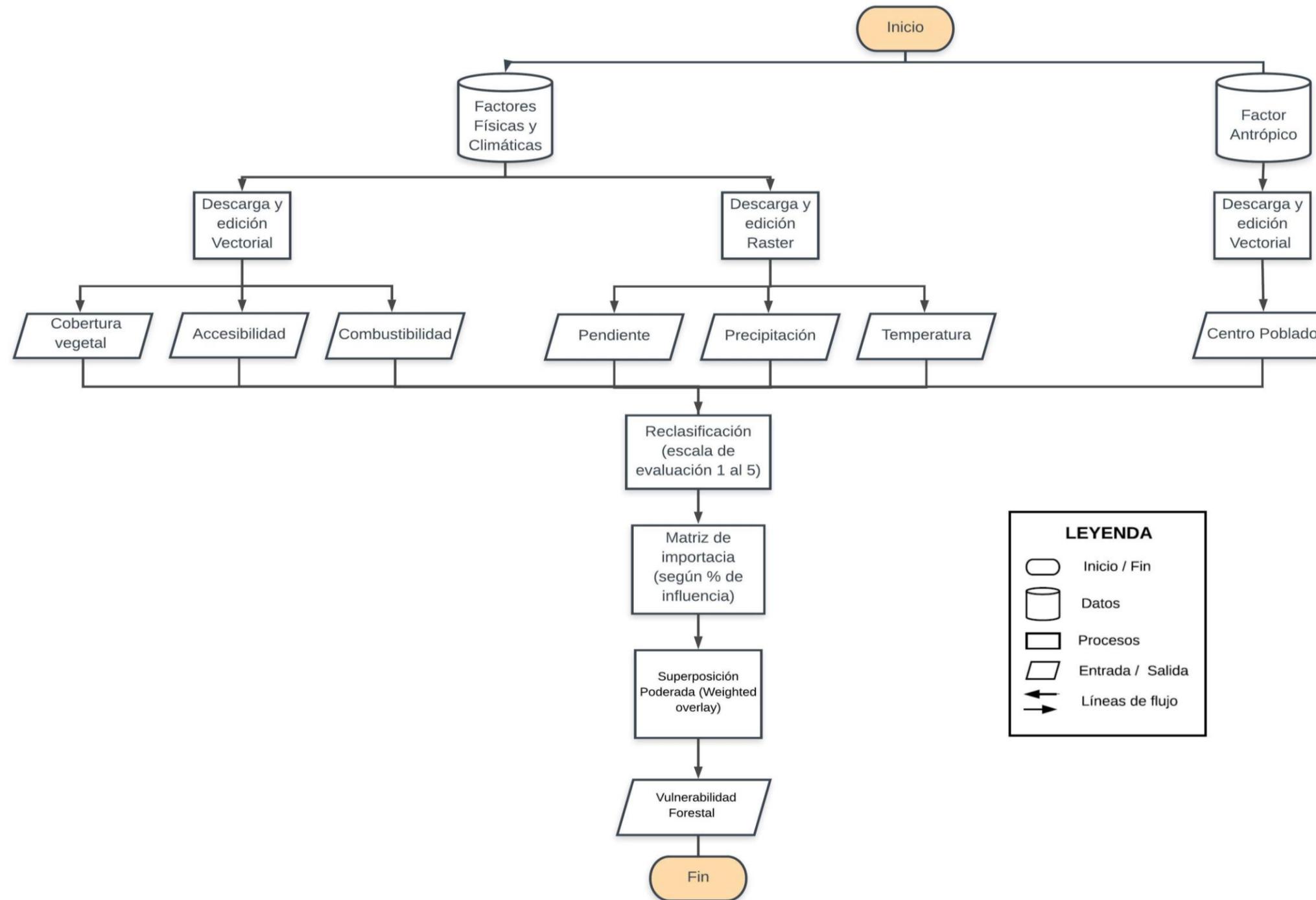


Figura 6: Diagrama del procesamiento de datos

3.3.3 NORMALIZACIÓN

Una vez definidas los factores de vulnerabilidad, es necesario establecer un criterio coherente para integrarlas de la manera más apropiada y así obtener como resultado el mapa de vulnerabilidad de la cobertura forestal. Para ello, se debe normalizar o reclasificar los valores de cada factor (IDEAM, 2011).

En vista de que cada factor de vulnerabilidad identificados, se miden a diferentes escalas. Por ejemplo, temperatura en Celsius y la pendiente en porcentaje, es necesario estandarizarlos antes de combinarlos y transformarlos para que todos ellos puedan ser correlacionados. Para ello las variables deben clasificarse según la escala numérica de la vulnerabilidad. En los estudios previos revisados, los niveles de vulnerabilidad son: Muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo, que a la vez están definido a valores numéricos (muy alto = 5, alto = 4, moderado = 3, bajo = 2 y muy bajo = 1), lo cual facilita la integración de los factores en el programa de ArcGIS 10.1.

a. Tipo de Cobertura Vegetal

La normalización de la cobertura vegetal es considerada tomando en consideración el grado de exposición al peligro, la normalización se adaptó del estudio realizado en el departamento de Apurímac (GORE Apurímac, 2017), la cual se identifica el grado de exposición de acuerdo al tipo de cobertura vegetal para la provincia de Cajamarca (Tabla 4).

Tabla 4: Normalización de la información temática de cobertura vegetal

Tipo de Cobertura vegetal	Normalización	Valor normalizado
Agricultura costera y andina	Muy Alto	5
Área urbana	Nula	0
Bofedal	Muy Alto	5
Bosque montano occidental andino	Alto	4
Bosque seco de montaña	Alto	4
Bosque xérico interandino	Alto	4
Centro minero	Nula	0
Lagunas, lagos y cochas	Nula	0
Matorral arbustivo	Alto	5
Pajonal andino	Muy Alto	0
Plantación Forestal	Moderado	3

Fuente: GORE Apurímac (2017)

b. Accesibilidad

A partir del mapa de accesibilidad, se generó 04 zonas de influencias a las vías departamentales, vías nacionales y vías vecinales (herramienta buffer), con un radio de 500 m; una vez generado los buffers se reclasificó (normalizó) de acuerdo con la Tabla 5. El criterio de normalización se adaptó del estudio realizado por IDEAM (2011).

Tabla 5: Normalización de la información temática de accesibilidad

Rango	Normalización	Valor de normalización
0 - 500 m	Muy alto	5
500 – 1000 m	Alto	4
1000 – 1500 m	Moderado	3
1500 – 2000 m	Bajo	2
> 2000 m	Muy bajo	1

Fuente: IDEAM (2011)

c. Pendiente

A partir del mapa de pendiente obtenida mediante el Modelo Digital de Elevación, se reclasificó los valores de las pendientes en 5 rangos. Siendo el grado 45° como valor máximo (CENEPRED, 2018).

Tabla 6: Normalización de la información temática de pendiente

Rango	Normalización	Valor de normalización
0° - 5°	Muy bajo	1
5° - 15°	Bajo	2
15° - 25°	Moderado	3
25° - 45°	Alto	4
> 45°	Muy alto	5

Fuente: CENEPRED, 2018

d. Combustibilidad

Los valores normalizados del factor combustibilidad han sido establecidos de acuerdo al tipo de combustible dominante, generándose para cada uno de ellos un valor de calificación, de las cuales se adaptó los criterios de normalización del estudio realizado por CENEPRED (2018).

Tabla 7: Normalización de la información temática de combustibilidad

Descripción	Reclasificación por biomasa	Normalización	Valor de normalización
Agricultura	Arbustos/Pasto/Hierba	Moderado	3
Área urbana	Área urbana	bajo	1
Bofedal	Pasto/Hierba	Muy alto	5
Bosque montano	Árboles/arbustos	Moderado	3
Bosque seco	Árboles/arbustos	Moderado	3
Bosque xérico	Árboles/arbustos	Moderado	3
Centro minero	Centro minero	Muy bajo	1
Laguna, lagos y cochas	No combustible	Nulo	0
Matorral arbustivo	Arbustos/hierbas	Alto	4
Pajonal andino	Pastos/hierbas	Muy Alto	5
Plantación forestal	Arboles	Bajo	2

Fuente: CENEPRED (2018)

e. Precipitación

La normalización de la precipitación fue establecida en intervalos de valores de precipitación media anual, adaptado del estudio realizado por IDEAM (2011).

Tabla 8: Normalización de la información temática de precipitación media anual

Rango	Normalización	Valor de normalización
0 - 1000 mm	Muy alto	5
1000 - 2000 mm	Alto	4
2000 - 3000 mm	Moderada	3
3000 - 7000 mm	Baja	2
> 7000 mm	Muy Baja	1

Fuente: IDEAM (2011)

f. Temperatura

La normalización de la temperatura fue establecida en intervalos de valores de precipitación media anual, adaptado del estudio realizado por IDEAM (2011).

Tabla 9: Normalización de la información temática de temperatura

Rango	Normalización	Valor de normalización
< 1.5° - 6 °	Muy baja	1
6° - 12°	Baja	2
12° - 18°	Moderada	3
18° - 24°	Alto	4
> 24°	Muy alto	5

Fuente: IDEAM (2011)

g. Centros Poblados

A partir del mapa de centros poblados se generó cuatro zonas de influencias (buffer) con un radio de 500 m; una vez generado los buffers se normalizó de acuerdo a la Tabla 10. La normalización de los valores del factor de los centros poblados ha sido establecida de acuerdo a la clasificación por rango de proximidad o lejanía en contacto con la cobertura vegetal, la misma que se usó para el factor accesibilidad.

Tabla 10: Normalización de la información temática de centros poblados

Descripción	Normalización	Valor de normalización
0-500m	Muy alto	5
500-1000m	Alto	4
1000-1500m	Moderado	3
1500m-2000m	Bajo	2
> 2000m	Muy bajo	1

Fuente: IDEAM (2011)

3.3.4 PONDERACIÓN DE LOS FACTORES MEDIANTE EL MÉTODO DE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

Posterior a la normalización de los factores, se desarrolló un sistema de ponderación de las mismas, dichas ponderaciones fueron propuestas por los expertos en las entrevistas, basado en las consideraciones de que no todos los factores de vulnerabilidad tienen la misma importancia. Esta ponderación permite que cada factor asuma un peso relativo que hará que ciertos factores incidan en mayor o menor medida sobre la vulnerabilidad forestal por incendio forestal.

A partir de la entrevista de los profesionales expertos, se procedió a ponderar de par en par los criterios con el objetivo de determinar la importancia relativa asignando valores numéricos. Para las comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, propuesta por Saaty (1980), descrito en la Tabla 1 del punto 2.10.

3.3.4.1 PESO DE CRITERIO

En esta etapa, se utilizó una planilla Excel del Proceso de Análisis Jerárquico (Luna, 2019). El proceso sigue la secuencia descrita en la revisión bibliográfica, obteniendo como resultado las ponderaciones de cada factor de manera automática.

La información que se ingresa al Excel son los valores de importancia de los factores comparados de par en par valorizado por los expertos, que fueron documentados en el material de entrevista del formato 4 (Anexo 2).

3.3.5 MODELO DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LA COBERTURA FORESTAL

La construcción del modelo se realizó teniendo en cuenta los factores más importantes e incidentes de acuerdo con las experiencias y estudios en el tema. Para esta investigación será la representación espacial de los factores con mayor o menor susceptibilidad a sufrir daño y pérdida ante la manifestación de un peligro (incendio forestal).

Para generar el modelo de vulnerabilidad de la vegetación se integraron los siete mapas descritos en la normalización, (Figura 7). Mediante la aplicación del método de combinación ponderada lineal.

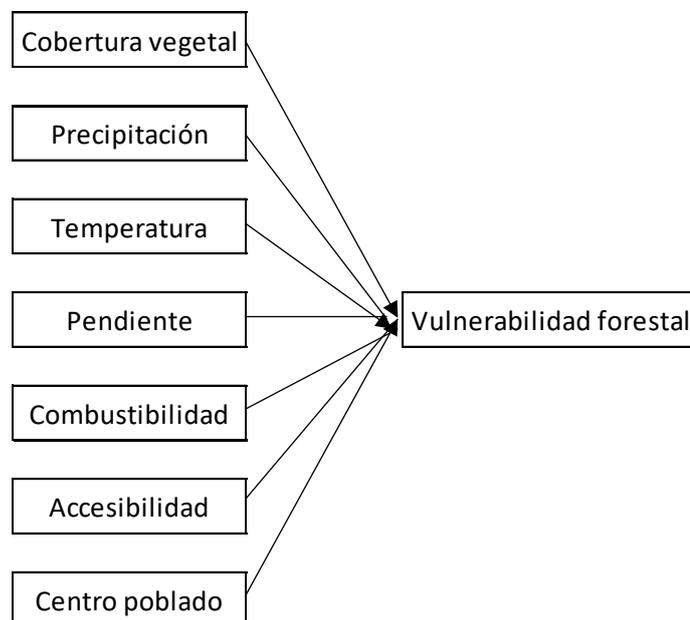


Figura 7: Modelo conceptual de la vulnerabilidad de la cobertura forestal

Combinación Lineal Ponderada (WLC)

Teniendo los factores normalizados en mapas a una escala común de uno al cinco y los pesos de los factores obtenidos del método de AHP. El mapa de vulnerabilidad de la cobertura forestal será el resultado de la superposición de los siete mapas normalizados (Figura 8). Por lo tanto, para aplicar la metodología de la combinación lineal ponderada para los mapas, se utilizó el programa ArcGIS. Una vez cargados los mapas al programa, se realizó la superposición de los mapas, cada mapa con su respectiva ponderación obtenida en el punto 3.3.4.1 (herramienta *weighted overlay*.) La integración es representada por medio de la siguiente fórmula:

$$VFC = A*CV + B*CP + C*Tem + D*Pre + E*Acc + F*Pen + G*Com$$

Donde:

- VFC: Vulnerabilidad de la cobertura forestal por los incendios forestal en la provincia de Cajamarca.
- CV = Tipo de Cobertura vegetal
- CP = Centros poblados
- Pre = Precipitación
- Tem = Temperatura
- Pen = Pendiente
- Acc = Accesibilidad
- Com = Combustibilidad
- A, B, C, D, E, F, G, son pesos en porcentaje que representan la influencia de los factores en el modelo.

Obteniendo de esta forma el Mapa de Vulnerabilidad de la Cobertura Forestal. (Fecha de la elaboración del mapa: 18 de junio del 2019)

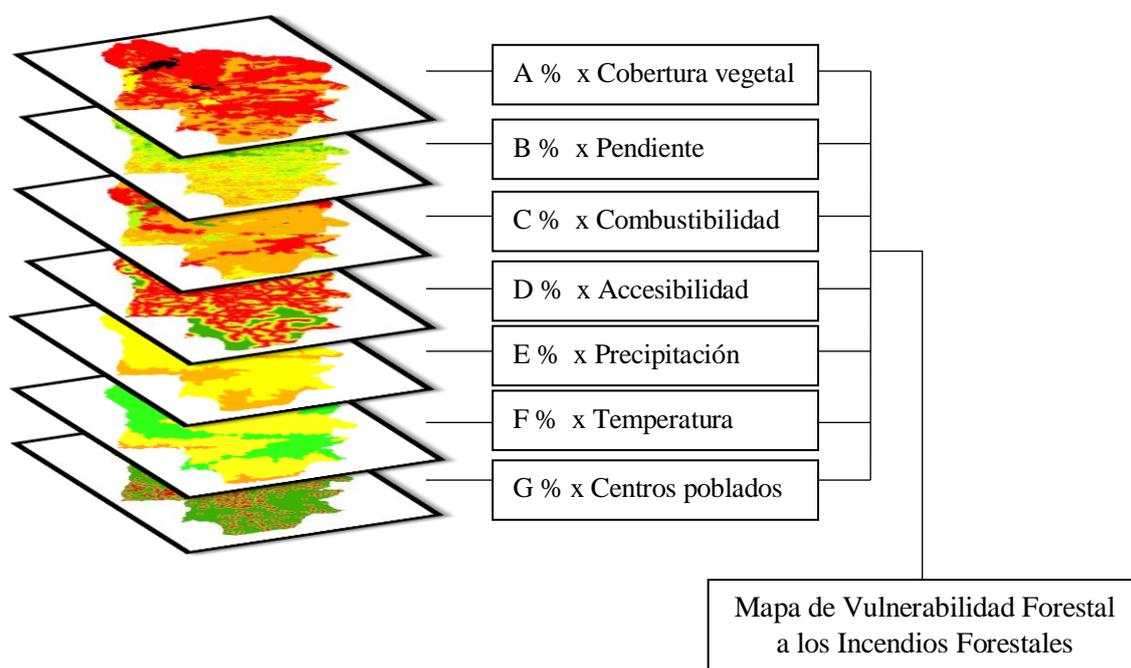


Figura 8: Modelo del análisis de vulnerabilidad de la cobertura forestal

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FACTORES DE VULNERABILIDAD DE LA COBERTURA FORESTAL A LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

A partir de las entrevistas de los especialistas, se identificaron factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal a incendio forestal en la provincia de Cajamarca para cada componente de vulnerabilidad, que pueden ser físicos, climático y antrópico. Pudiéndose resumir en los siguientes factores: Tipo de Cobertura vegetal, pendiente, accesibilidad, combustibilidad, clima y centros poblados (Tabla 11).

Para el caso del factor clima, los entrevistados lo consideran como el resultado de la interacción entre la precipitación y temperatura, por lo que para el análisis de la vulnerabilidad se disgregaron en dos variables.

Los factores obtenidos en la entrevista que no se incluyeron dentro del estudio, fueron los centros arqueológicos, fauna silvestre y viento, ya que el análisis de vulnerabilidad se enfocó en los factores de vulnerabilidad directas a la vegetación.

Tabla 11: Factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal

Exposición	Fragilidad				
A	B	C	D	E	F
Tipo de Cobertura vegetal	Clima	Pendiente	Combustible	Centros poblados	Accesibilidad

4.2 RECOPIRAR LA INFORMACIÓN DIGITAL FORMA VECTORIAL (SHAPEFILE) DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD POR INCENDIOS FORESTALES DE LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

Para esta investigación se generaron siete mapas, siendo estos los siguientes: cobertura vegetal, accesibilidad, pendiente, combustibilidad, precipitación, temperatura y centros poblados. En estos mapas temáticos se representó los factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal de la provincia de Cajamarca.

a. Factor tipo de cobertura vegetal

La cobertura vegetal más expuesta a los incendios forestales es la cobertura agrícola con un 112 537 ha que representa el 37,8% de la provincia de Cajamarca, según el análisis realizado (Tabla 11), esto se debe al uso extendido del fuego para la quema de residuos y rastrojo en la producción agrícola. Así mismo, la actividad agrícola de la provincia de Cajamarca se superpone con Tierras Aptas para Producción Forestal, Tierras de Protección y Tierras Aptas para Pasto evidenciando el cambio de uso de suelo mediante uso de fuego. La segunda cobertura vegetal más expuesta a los incendios forestales son los matorrales arbustivos (25,9%) y la tercera cobertura más expuesta es el pajonal andino (24,6%), debido a la colindancia y cercanía con la cobertura vegetal exponiéndose más a la actividad de la quema. Los bosques y las plantaciones representan el 8,5% de las cuales el 32% se encuentran dentro de Tierras Aptas para Cultivo y Tierra Apta para Pasto, aumentando su susceptibilidad a incendio forestal por el cambio de uso mediante fuego. Para las zonas urbanas y centros mineros ocupan el último lugar, se caracterizan por ser tierras de propiedad privada o concesiones que por ser personas naturales o jurídicas la exposición a los incendios forestales es mínima (Figura 9).

Tabla 12: Cobertura vegetal de la provincia de Cajamarca

N°	Cobertura	Superficie (ha)	%
1	Agricultura costera y andina	112 537,3	37,8
2	Área urbana	1 961,7	0,7
3	Bofedal	2 387,9	0,8
4	Bosque montano occidental andino	3 29,2	0,1
5	Bosque seco de montaña	9 268,3	3,1
6	Bosque xérico interandino	1 034,5	0,3
7	Centro minero	5 112,3	1,7
8	Lagunas, lagos y cochas	305,6	0,1
9	Matorral arbustivo	77 135,3	25,9
10	Pajonal andino	73 170,6	24,6
11	Plantación Forestal	14 769,3	5,0

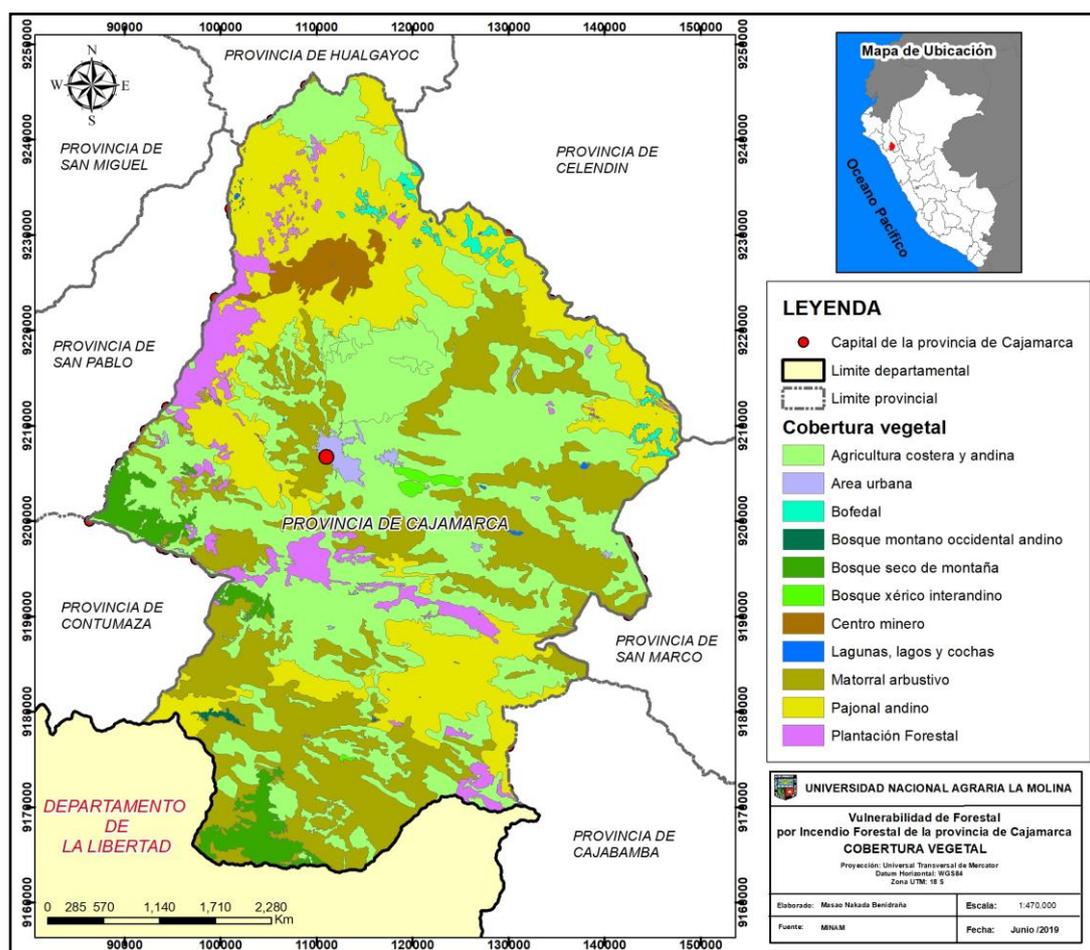


Figura 9: Mapa de cobertura vegetal

b. Factor combustibilidad

Del mapa de combustibilidad en la provincia de Cajamarca (Figura 10), se identifica en mayor proporción el tipo de combustible arbusto, pasto y hierbas con un 89%, esto le da a la provincia de Cajamarca gran probabilidad de incendiarse y propagarse (IDEAM, 2011). Las zonas compuestas por árboles y arbustos solo representan 8,6% (Tabla 13). Esto se debe a la característica del ecosistema de la cobertura vegetal de la provincia de Cajamarca donde predomina la biomasa de menor tamaño siendo una debilidad por la facilidad de ignición frente al fuego aumentando la susceptibilidad.

Tabla 13: Combustibilidad de la provincia de Cajamarca

Cobertura vegetal	Tipo de combustible	superficie (ha)	%
Agricultura costera y andina	Arbustos, pasto y hierbas	112 537,3	37,8
Bosque montano occidental andino	Árboles y arbustos	10 632,1	3,6
Bosque seco de montaña			
Bosque xérico interandino			
Matorral arbustivo	Arbustos y hierbas	77 135,3	25,9
Bofedal	Pasto y hierba	75 558,5	25,4
Pajonal andino			
Plantación Forestal	Arboles	14 769,3	5,0
Centro minero	Centro minero	5 112,3	1,7
Área urbana	Área urbana	1 961,7	0,7
Lagunas, lagos y cochas	No combustible	305,6	0,0

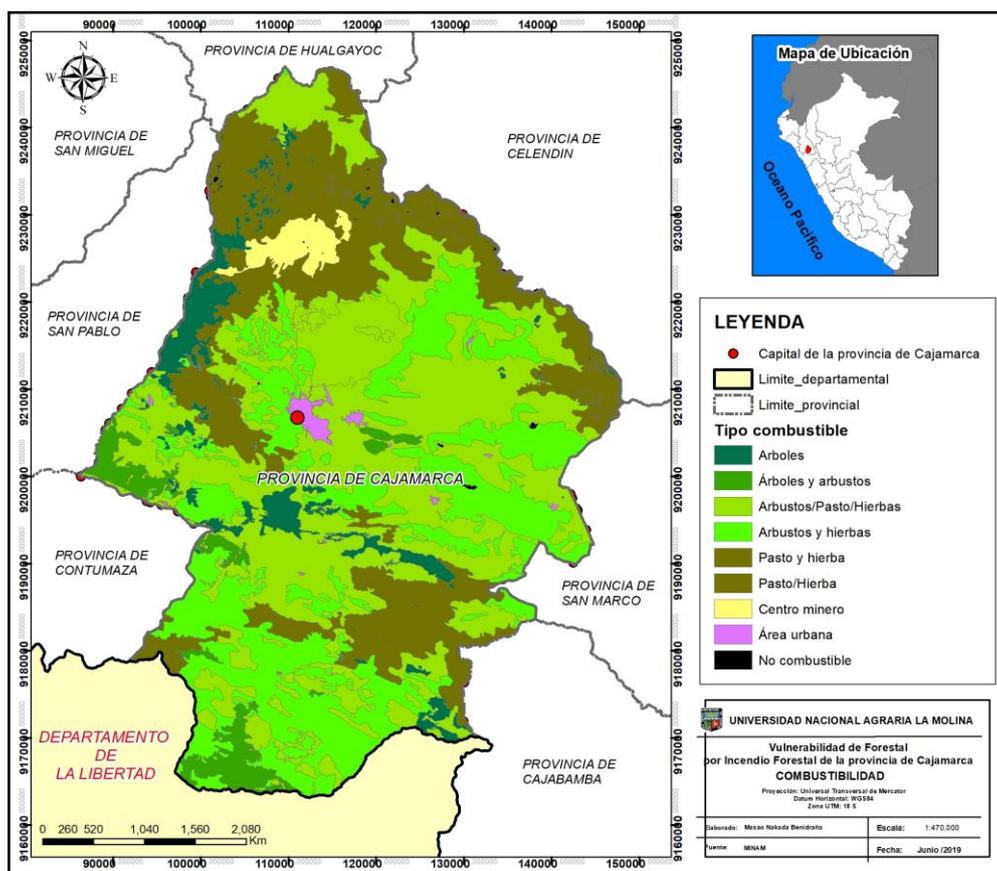


Figura 10: Mapa de combustibilidad

c. Factor clima
i. Factor temperatura

El rango de temperatura media multianual identificado para la provincia de Cajamarca en un periodo de 20 años (2007 – 2017) es de 7 – 21 °C (Tabla 14 y Figura 11) (WorldClim 2019). Así mismo, de acuerdo al rango de temperatura que influye en los niveles de susceptibilidad (tabla 13), el 50% de la vegetación de provincia de Cajamarca presenta susceptibilidad baja y 46,4% moderada, esto quiere decir, que el factor temperatura no influye considerablemente en el ritmo de reducción de humedad en el suelo y de la vegetación.

Tabla 14: Susceptibilidad de la variable temática temperatura

Rango de temperatura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
7° - 12°	148 886,5	50,0
12° - 18°	138 155,1	46,4
18° - 21°	10 970,4	3,7

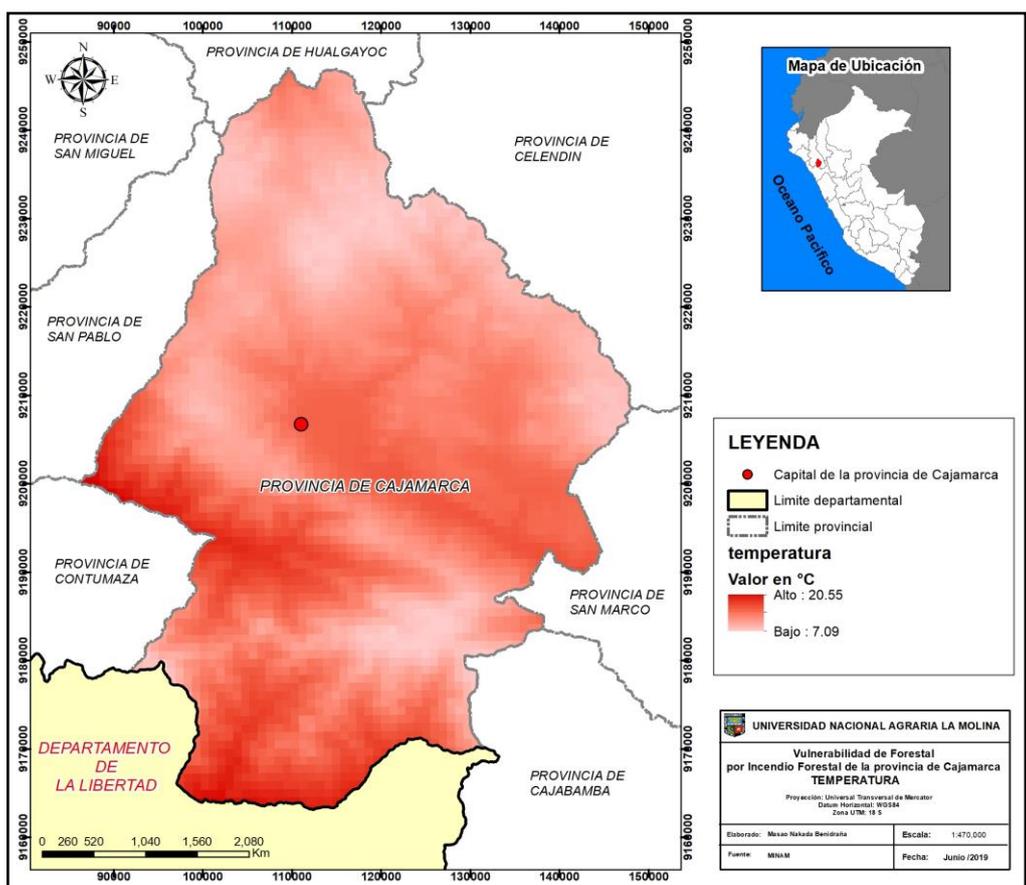


Figura 11: Mapa de temperatura

ii. Factor precipitación

El rango de precipitación media multianual identificado para la provincia de Cajamarca en un periodo de 20 años (2007 – 2017) es de 232 – 1 276 mm (Tabla 15 y Figura 12) (WorldClim 2019). Así mismo, de acuerdo al rango de precipitación que influye en los niveles de susceptibilidad, el 78,3% de la cobertura vegetal de provincia de Cajamarca presenta susceptibilidad muy alta (Tabla 7), esto se debe a que la característica del ecosistema predominante es de época húmeda. Además, según el diagrama bioclimático, se encuentra en el rango árido y semiarido.

Tabla 15: Precipitación de la provincia de Cajamarca

Rango de precipitación	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
232 – 1 000 mm	233 260,9	78,3
1 000 – 1 276 mm	64 751,1	21,7

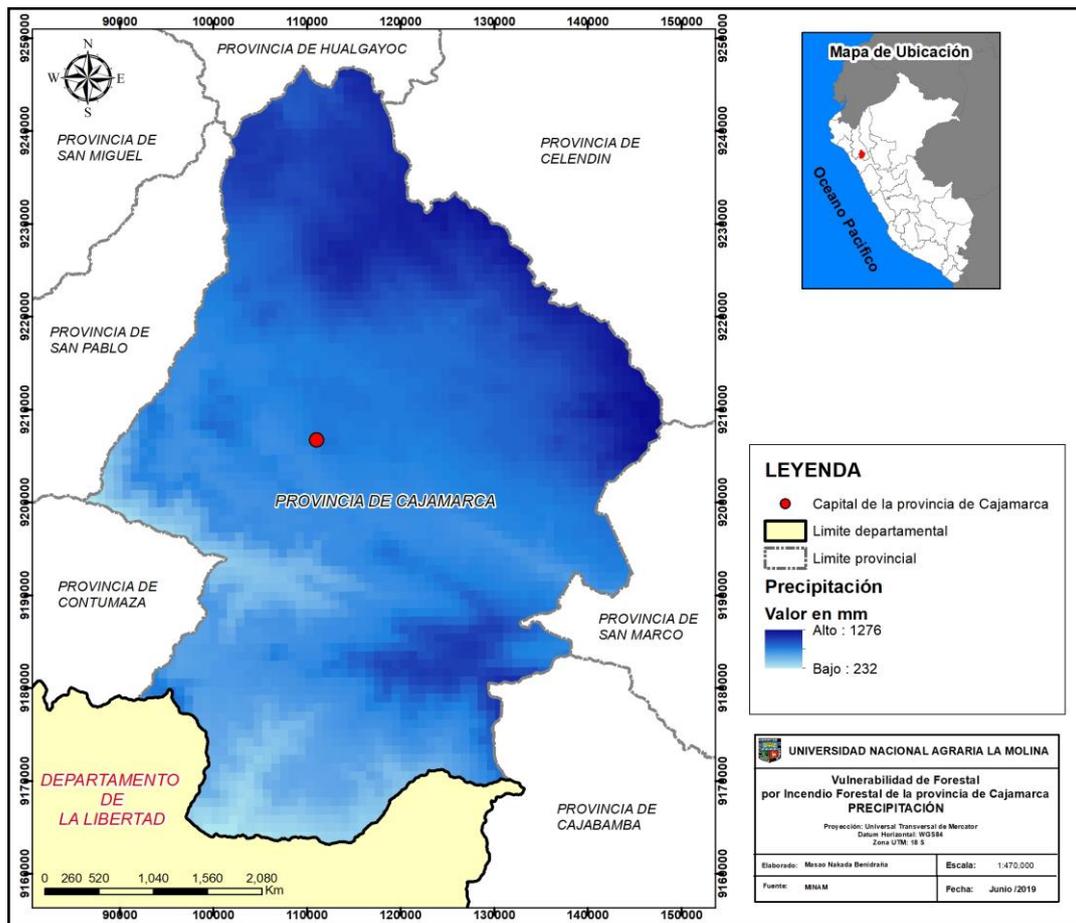


Figura 12: Mapa de precipitación

d. Factor pendiente

A partir del mapa de pendientes se puede establecer, que el máximo valor es de 72° , y los valores mínimos corresponden a las planicies o llanuras (0°) para la provincia de Cajamarca. En la Tabla 16 se puede observar que el valor predominante se encuentra entre el rango de 5° a 15° representando un 41,6% del área total influyendo en una susceptibilidad baja. En el segundo lugar se encuentra el rango $15^\circ - 25^\circ$ con un 28,2% del área con una susceptibilidad moderada. Seguido del rango de $25^\circ - 45^\circ$ con un 18,1% del área con una susceptibilidad alta. Para el rango de pendiente $0^\circ - 5^\circ$ cuya susceptibilidad es muy bajo, representa el 11,5% de la

superficie. Por último, la pendiente con mayor a 45° representa el 0,5% del área. Resultando que el factor pendiente no influye significativamente en la vulnerabilidad forestal en la provincia de Cajamarca.

Tabla 16: Susceptibilidad de la variable temática pendiente

Pendiente	Superficie (ha)	%
0°-5°	34 366,9	11,5
5°-15°	124 091,7	41,6
15°-25°	83 963,3	28,2
25°-45°	54 035,1	18,1
> 45°	1 555,1	0,5

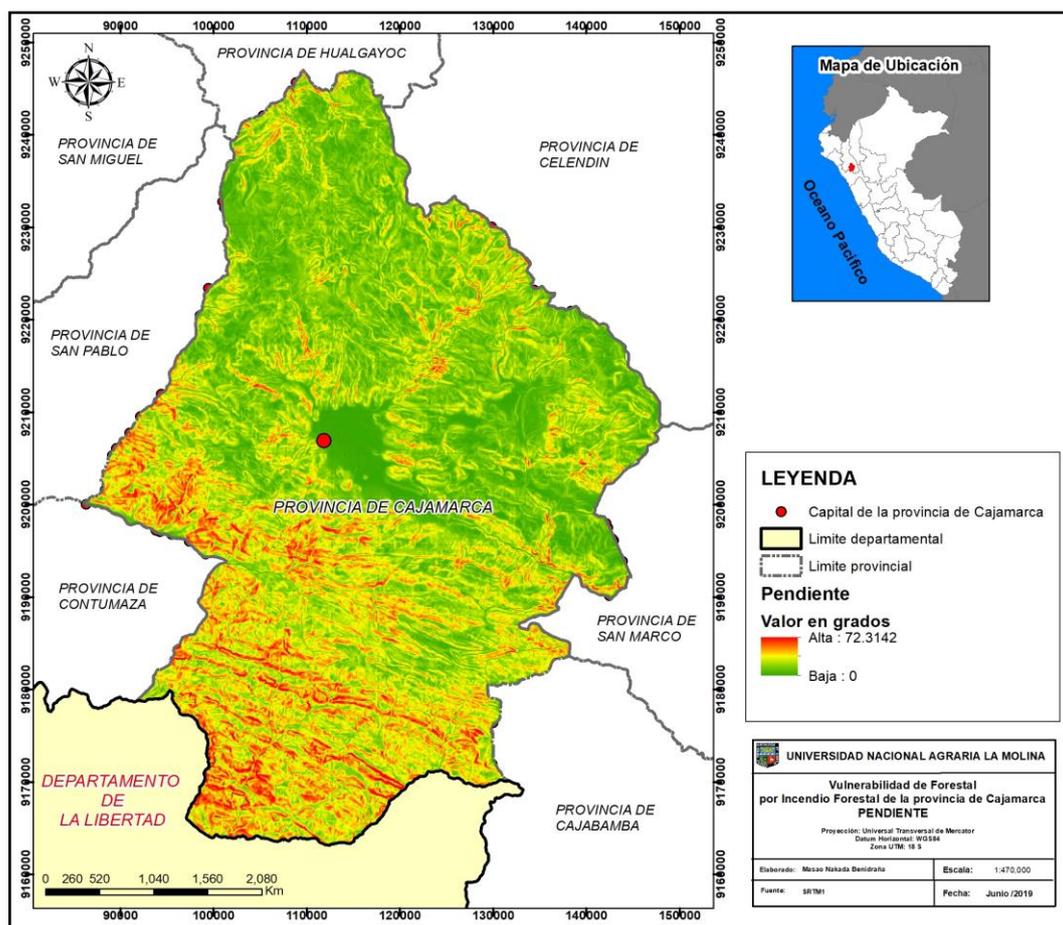


Figura 13: Mapa de pendiente

e. Factor Accesibilidad

A partir del mapa de accesibilidad (Figura 14), se puede identificar un red vial departamental que atraviesa el distrito de Cospan y asuncion, la red vial nacional para los distritos Encañada, Namora, Matara, Los Baños del Inca, Magdalena, San Juan, Llacanora y Cajamarca, y la red vial vecinal que se encuentra distribuido a todo los distritos concentrandose mayor densidad en los distritos de Cajamarca, Baños del Inca, San Juan, Llacanora, Namora y La Encañada de acuerdo al analisis realizado.

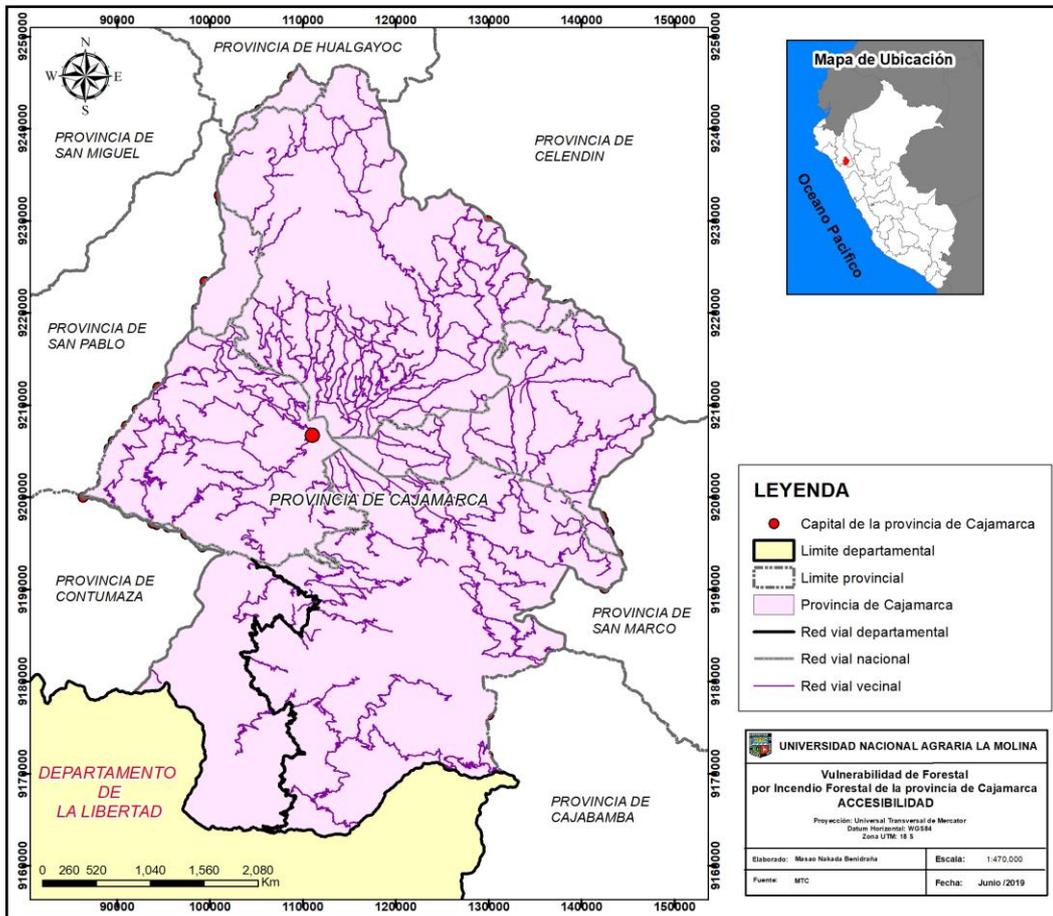


Figura 14: Mapa de accesibilidad

f. Factor centros poblados

A partir del mapa de centros poblados, se identificaron 1 559 centros poblados en la provincia de Cajamarca.

De acuerdo al INEI (2009), históricamente la provincia de Cajamarca ha ido aumentando la distribución de la población. En el año 1981, 168 196 personas representaban el 16,4% de la población total del departamento de Cajamarca. En 1993, 230 049 personas representaban el 18,3% y en 2007, 316 152 personas representaban el 22,8%, con la tendencia que va en aumento. Sin embargo, la zona rural si bien ha ido incrementando, esto a un ritmo decreciente, pues en el año 1981 a 1993 creció un 1,3% y de 1993 a 2007 creció en -0,1%. Estos datos concuerdan con Manta (2017) que indica que la reducción de la población rural ha conducido a un mayor uso del fuego, ya que es la herramienta más económica, que permite convertir tierras forestales y de protección al uso agrícola y pecuario a bajo costo. El riesgo de que el fuego escape y desencadene un incendio forestal se ha hecho mayor.

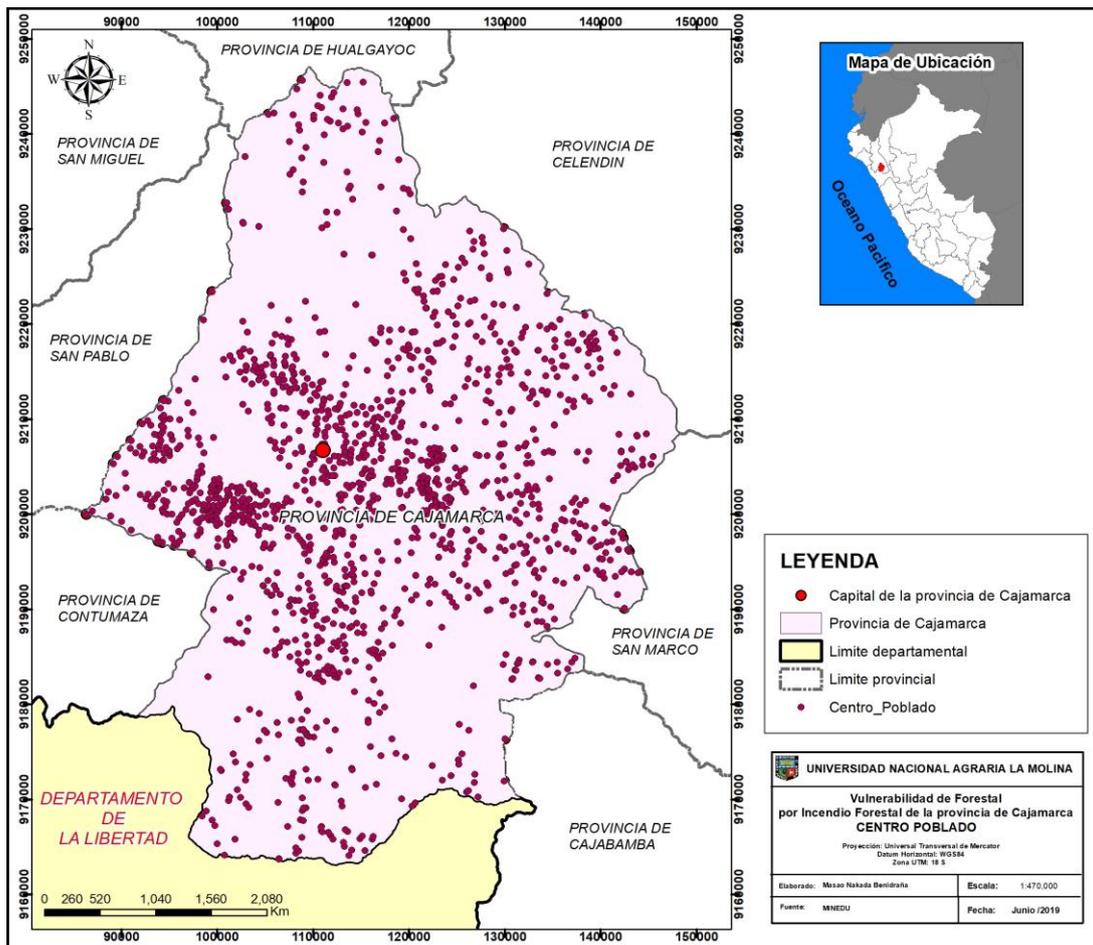


Figura 15: Mapa de centros poblados

4.3 PONDERACIÓN DE LOS FACTORES MEDIANTE EL MÉTODO DE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

Del AHP (Tabla 17) los factores con mayor ponderación fueron el factor clima y combustibilidad con un porcentaje de 23% para ambas, esto quiere decir que estas influyen considerablemente en la vulnerabilidad a la cobertura forestal a incendios forestales en la provincia de Cajamarca, esto se debe a que los entrevistados asignaron mayor importancia a la precipitación y temperatura por influir en la cantidad de humedad en la planta y la capacidad de ignición de cada cobertura vegetal. La segunda variable con mayor incidencia es el factor

centros poblados con un porcentaje de 18% por presencia de actividad agrícola y la presión de cambio de uso mediante el uso de fuego. Finalmente, en una escala menor se encuentra el factor accesibilidad, tipo de cobertura vegetal y la pendiente con 13%, 12% y 11% respectivamente, no influenciando significativamente en la vulnerabilidad forestal.

Tabla 17: Resultado de los pesos de cada factor de vulnerabilidad de la cobertura forestal

Factor		Ponderación	Porcentaje
A	Tipo de Cobertura vegetal	0,12	12%
B	Centros Poblados	0,18	18%
C	Clima	0,23	23%
D	Accesibilidad	0,13	13%
E	Pendiente	0,11	11%
F	Combustibilidad	0,23	23%

4.4 MAPA DE VULNERABILIDAD DE LA COBERTURA FORESTAL POR INCENDIOS FORESTALES EN LA PROVINCIA DE CAJAMARCA

El modelo de vulnerabilidad de la cobertura forestal en la provincia de Cajamarca (VFC) nos permite representar y ubicar geoespacialmente, el grado de vulnerabilidad de los diferentes espacios forestales de la provincia de Cajamarca, mostrados en cinco niveles: Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta (Tabla 18 y Figura 16).

Tabla 18: Grado de vulnerabilidad para la provincia de Cajamarca

Grado de vulnerabilidad	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Muy baja	651,0	0,2
Baja	6 118,6	2,1
Moderada	71 211,9	23,9
Alta	219 722,1	73,7
Muy alta	307,1	0,1

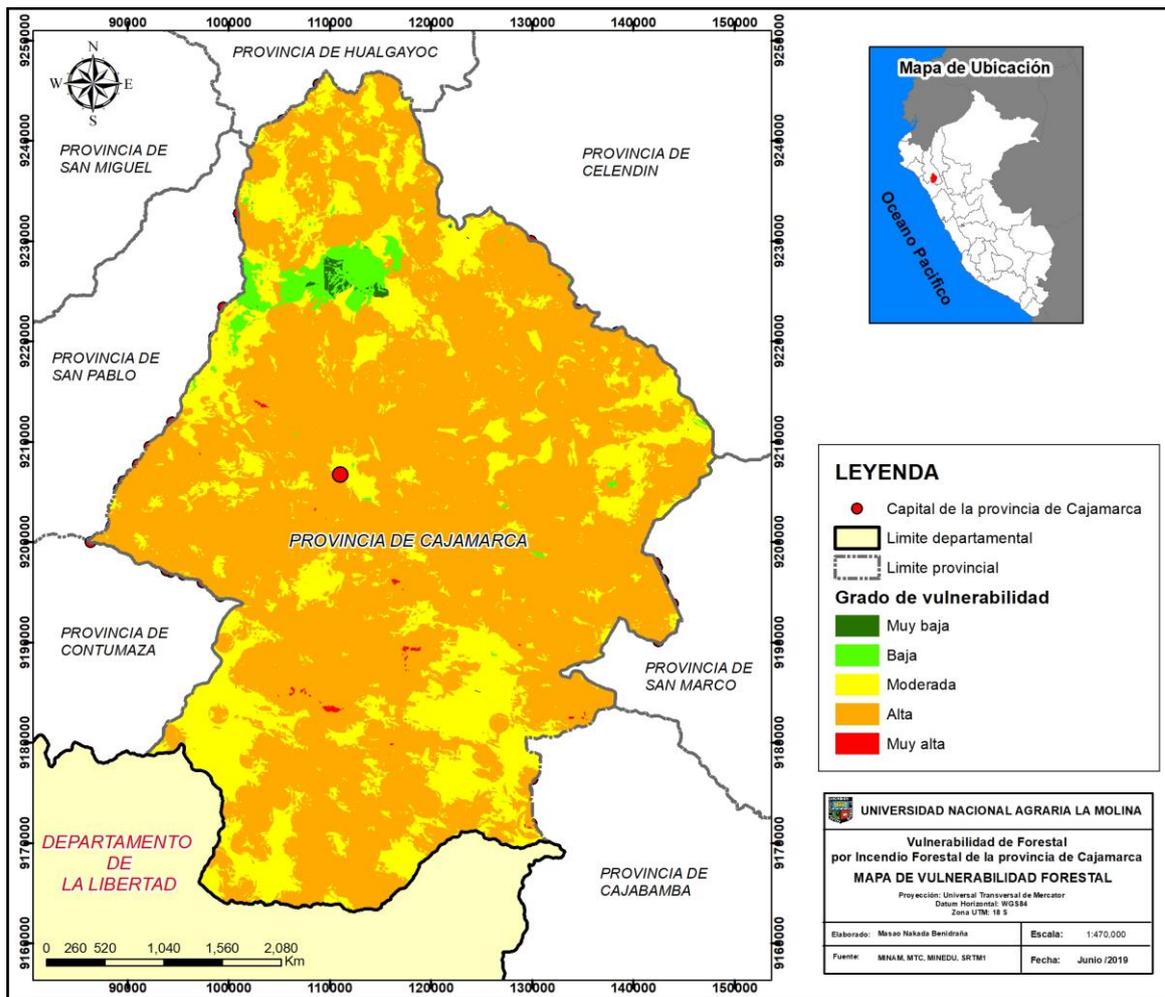


Figura 16: Vulnerabilidad a incendios forestales en la provincia de Cajamarca

La vulnerabilidad forestal *Muy alta*, abarca un área de 307 ha, dicha zona solo representa el 0,1% del territorio de la provincia de Cajamarca. Se registró en esta categoría 06 centros poblados. Por la magnitud, esta categoría no es representativo.

Se determinó predominantemente un grado de vulnerabilidad forestal *Alto* que abarca un área de 219 722 ha, dicha zona representa el 73,7% de la provincia de Cajamarca. Esto se debe a que gran parte de la zona corresponde a pajonales y matorrales andinos con un 113 465 ha que tienen alto grado de exposición, dato coincidente con el estudio realizado por CENEPRED

(2020) que indica que el departamento de Cajamarca posee áreas de mayor riesgo. Con uso agrícola 95 393 ha donde la práctica de quema es común en la zona. La influencia de la precipitación con rango de 232 a 1 000 mm (categoría de susceptibilidad muy alto) incide en 78,3% de la superficie de la provincia de Cajamarca. Así mismo, encontrándose en esta categoría 1 476 centros poblados que ejerce presión a diferente tipo de cobertura vegetal.

La vulnerabilidad forestal *Moderada* abarca un área de 71 211,9 ha, representando el 23,9%. Tiene condición climática favorable ya que son zonas con mayor precipitación. La materia combustible es menos pirogénica ya que en la zona encontramos presencia de bosques. Así mismo, encontrándose en esta categoría 74 centros poblados.

La vulnerabilidad forestal *baja* abarca un área de 6 118,6 ha que representa un 2,1% de la provincia de Cajamarca. En esta unidad está representado por áreas de plantaciones forestales y en área de influencia de centros mineros, estos ubicándose en zonas de condiciones climáticas favorables para dichas actividades y pendientes no muy pronunciada. No se identificó zonas de cobertura agrícolas para esta categoría. Así mismo, encontrándose en esta categoría 02 centros poblados, en la cual es un indicador que no hay tanta presión antrópica con los recursos forestales.

La vulnerabilidad forestal *muy baja* abarca un área de 651 ha que representa un 0,2% de la provincia de Cajamarca. En esta categoría solo está representado por centros mineros, esto quiere decir que la vegetación presente en esta zona está protegida por las concesiones mineras y de ámbito legal. A esto se le puede agregar que las concesiones mineras tienen planes de contingencia contra incendios exigidos por ley, de haber un incendio forestal tendrían acciones de primera respuesta. Así mismo, no se identificó centros poblados en la zona. Por lo tanto, la vegetación en esta categoría tiene baja exposición contra incendio forestal.

Limitaciones del modelo

Las limitaciones de la aplicación del modelo estarían en replicar en zonas de diferentes características de relieve y altitud, como en zonas costeras del Perú, pues los factores de vulnerabilidad identificados por los especialistas fueron analizados de acuerdo a la realidad de la provincia de Cajamarca.

V. CONCLUSIONES

1. Se elaboró la propuesta de modelo para identificar la vulnerabilidad forestal por incendio forestal en la provincia de Cajamarca que pueda ser replicable en otros departamentos con características similares (altitud y relieve) y así contribuir con la conservación de los recursos forestales.
2. Se identificó los factores de vulnerabilidad de la cobertura forestal de la provincia de Cajamarca que son los centros poblados, tipo de cobertura vegetal, clima, pendiente, combustibilidad y accesibilidad.
3. Se recopiló la información digital de los factores de vulnerabilidad conformado por siete mapas temáticos en forma vectorial, que tiene sus respectivos atributos y rangos de valores.
4. Se evaluó la ponderación de los factores de vulnerabilidad, resultando con mayor ponderación los factores de clima y combustibilidad, seguidamente de centros poblados. En una escala menor se encuentra el factor de accesibilidad, tipo de cobertura vegetal y pendiente.
5. De acuerdo con el resultado del mapa elaborado, de vulnerabilidad de la cobertura forestal al incendio forestal, la provincia de Cajamarca presenta predominantemente áreas con vulnerabilidad alta.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda complementar los estudios de vulnerabilidad con estudios de peligro para determinar el riesgo de la provincia de Cajamarca.
- Para tener una mejor comprensión de la magnitud de las zonas vulnerables por los incendios forestales se recomienda hacer esta misma evaluación a nivel del departamento de Cajamarca.
- Se recomienda replicar el modelo en departamentos con características similares de altitud y relieve como zonas de la sierra peruana.
- Implementar el modelo automático en un Sistema de Información Geográfica para la vulnerabilidad de la cobertura forestal a incendio forestal.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, Y. (2000). Aplicación de la tecnología SIG al estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espueña-Gebas. *Universidad de Murcia*, 329.
- Aragoneses, C., & Rábade, J. (2004). Propuesta Metodológica para el Análisis de la Vulnerabilidad y de la Gravedad Potencial de los Incendios Forestales en el Marco de la Protección Civil. *Memorias del Segundo Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una Visión Global149*, 149-160.
- CENEPRED. (2018). Caracterización del peligro por incendios forestales. Lima.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., Vilar, P., . . . Salas, J. (2007). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y. *Teledetección*, 19-26.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, P., . . . zamora, R. (2014). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 13.
- COSUDE. (2002). Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua : Guía para el especialista. Nicaragua.
- Mielnicki, D.M., Canziani, P.O. (2006). Quema de biomasa en sudamérica: impactos regionales y globales. Buenos Aires.

- Díaz-Hormazábal, I., & González, M. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque*, 147-158.
- EIRD. (2009). Términos principales relativos a la Reducción del Riesgo de Desastres. *EIRD*.
- Eskandari, S., & Chuvieco, E. (2005). Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 57-64.
- Gómez, J. (2001). Vulnerabilidad y medio ambiente. *COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE - CEPAL*.
- Guzmán, G., & Rodríguez, A. (2008). Modelos de Riesgo y Vulnerabilidad a Incendios Forestales a partir de condiciones naturales y antrópicas; Caso de Estudio Parque Nacional Tunari. *Documento Técnico Proyecto FOMABO CIIFOR*, 27.
- Haltenhoff, D. (2010). Las comunas críticas en cuanto a la ocurrencia de incendios forestales. *Gobierno Nacional de Chile*, 22.
- IDEAM. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal. *Ideam*, 111.
- INDECI. (2006). Manual Básico para la Estimación del Riesgo. *INDECI*, 71.
- IPCC. (2001). Cambio Climático Síntesis de reporte. *IPCC*, 153.
- Luna, H. (2018). Planilla Excel - Proceso de Análisis Jerárquico. Lima.
- Malpartida, M. (2016). Riesgo a Incendios Forestales en la Provincia de Satipo-Junín. *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 93.

- Manta Nolasco, M., & León, H. (2004). Los incendios forestales en el Perú: grave problema por resolver. *FLORESTA*, 179-186
- Marchi, Tesi, Brachetti Montorselli, Conese, Bonora, & Romani. (2008). INTEGRATION OF LOCAL SCALE FUEL TYPE MAPPING AND FIRE BEHAVIOR PREDICTION USING HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGERY . *Forest fire prevention: a GIS tool or fire-fighting planning and management*, 107-111.
- MINAM. (2015). Geoservidor - Cobertura Vegetal. Recuperado de <https://geoservidor.minam.gob.pe/>
- MINAM. (2011). Memoria descriptiva del mapa de vulnerabilidad física del Perú. Lima.
- MINEDU. (2018). Descarga de información espacial del MED - Centros poblados. Recuperado de <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>
- MTC. (2018). Visor de Sistema Nacional de Carretera - SINAC. Recuperado de <https://www.geoidep.gob.pe/ministerio-de-transportes-y-comunicaciones>
- Gómez ,O.J., & Cabrera, O.J. (2008). Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. Pereira.
- Radeloff, Hammer, Stewart, Fried, Holcomb, & Mckeefry. (2005). The wildland–urban interface in the united states. *Ecological Society of America*, 799–805.
- Rodrigues Ramos, R. (2000). Localização Industrial Um modelo o Espacial para Noroeste de Portugal. *UNIVERSIDADE DO MINHO*, 1-11.

- Rosa Laura, C., Rodríguez Trejo, D., Tchikoué, H., Monterroso Rivas, A., & Santillan Pérez, J. (2012). Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia*, 678-683.
- Saaty, T.L. (1980): The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York
- Sabuco Cárdenas, P. L. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección. *Apuntes científicos*, 140-149.
- Scott, S. (2015). Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. *International Journal of Wildland Fire*, 213.
- SERFOR. (2018). *Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales*. Lima.
- Toskano, G. (2015). El Proceso de Analisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.
- United States Geological Survey (2016). USGS-EarthExplored. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2018). Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 435-446.
- Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación , remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 109-136.
- Villers, L. y J. López. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación de riesgos a incendios en áreas forestales de México: Un estudio en el volcán La Malinche. In: Villers, L. y

J. López, eds. Incendios forestales en México: Métodos de evaluación. Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM-CONACYT. México p:60-78

ZANAZZI, J.2003. Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty. En: Problemas del conocimiento en ingeniería y geología. Córdoba, Editorial Universitas

Zapata, R. 1999. América Latina y el Caribe: el impacto de los desastres naturales en el desarrollo, 1972-1999; México.

WordClim. 2019. Global Climate and Weather Data. Recuperado de <https://www.worldclim.org/>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: LISTA DE LOS ESPECIALISTAS ENTREVISTADOS

N°	Nombre de los entrevistados	Entidad	Dirección
1	Marco Antonio Arena	SERNANP	Dirección de Gestión de las ANP - SERNANP
2	Luis René Vallenas Vallenas	INDECI	Dirección de Desarrollo y Fortalecimiento de Capacidades Humanas
3	Blanca Ponce Vigo	SERFOR	Dirección general de información y ordenamiento territorial
4	Alejandra Zamora Ríos	OTCA	Especialista en Alertas Tempranas en Incendio Forestal.
5	Viller Flores Huillca	SERNANP	Brigadista contra incendio forestal del Santuario Histórico de Macchu Picchu
6	Cesar Gino Rodríguez Rojas	SERNANP	Dirección de Gestión de las ANP - SERNANP

ANEXO 1: FORMULARIO PARA LA ENTREVISTA

A. FORMULARIO 1

Nombre:

Cargo:

Institución:

Correo:

VULNERABILIDAD POR INCENDIO FORESTAL
VULNERABILIDAD = EXPOSICIÓN X FRAGILIDAD X RESILENCIA

-Vulnerabilidad es el grado en que un sistema (grupo humano, ecosistema, etc.) se ve expuesto a sufrir daños, ante un peligro (Incendio forestal).

Formulario 1. Detalle de la exposición

Aquí se analizan las unidades o elementos, que están expuestas al Incendio forestal. (Predisposición de un elemento a ser afectado).

N°	Elemento expuesto	¿Por qué? – muy breve	Código
1			A
2			B

B. FORMULARIO 2

Indica las condiciones de desventaja o debilidad relacionadas a los elementos expuestos frente al incendio forestal.

Aquí se analizan las condiciones físicas y de origen interno.

N°	Condición	¿Por qué? – muy breve	Código
1			C
2			D

C. FORMULARIO 3

Capacidad de respuesta del elemento expuesto para asimilar, adsorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un incendio forestal.

N°	Resiliencia	¿Por qué? – muy breve	Código
1			E
2			F

D. FORMULARIO 4

Tabla 1. Escala de preferencia

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Extremadamente
Menos importante				Igual de importancia	Más importante			

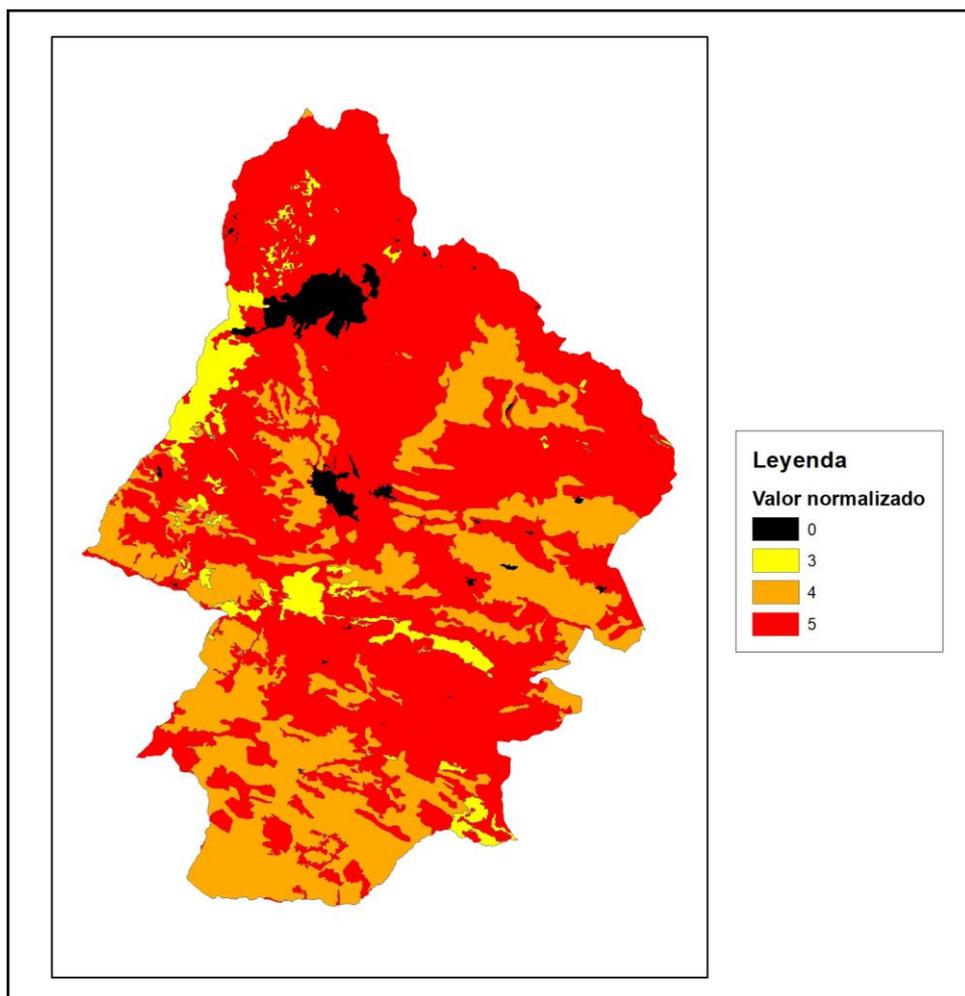
Saaty, 1980

Formulario 4: Matriz recíproca, en este formulario se va comparar los criterios de vulnerabilidad por IF de par en par, utilizando los valores de la tabla 1.

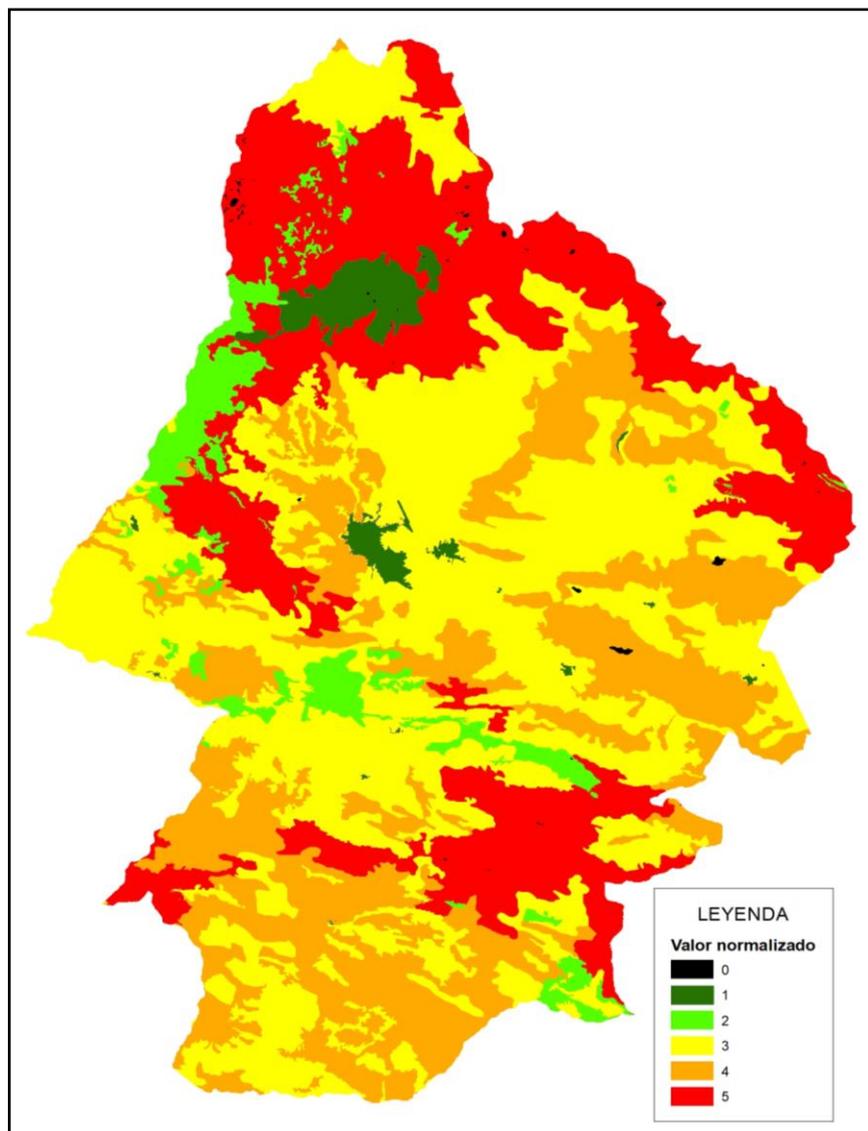
Código de los criterio	A	B	C	D	E	F		
A	1							
B		1						
C			1					
D				1				
E					1			
F						1		

ANEXO 2 FIGURA DE LOS FACTORES DE VULNERABILIDAD CON VALORES NORMALIZADOS

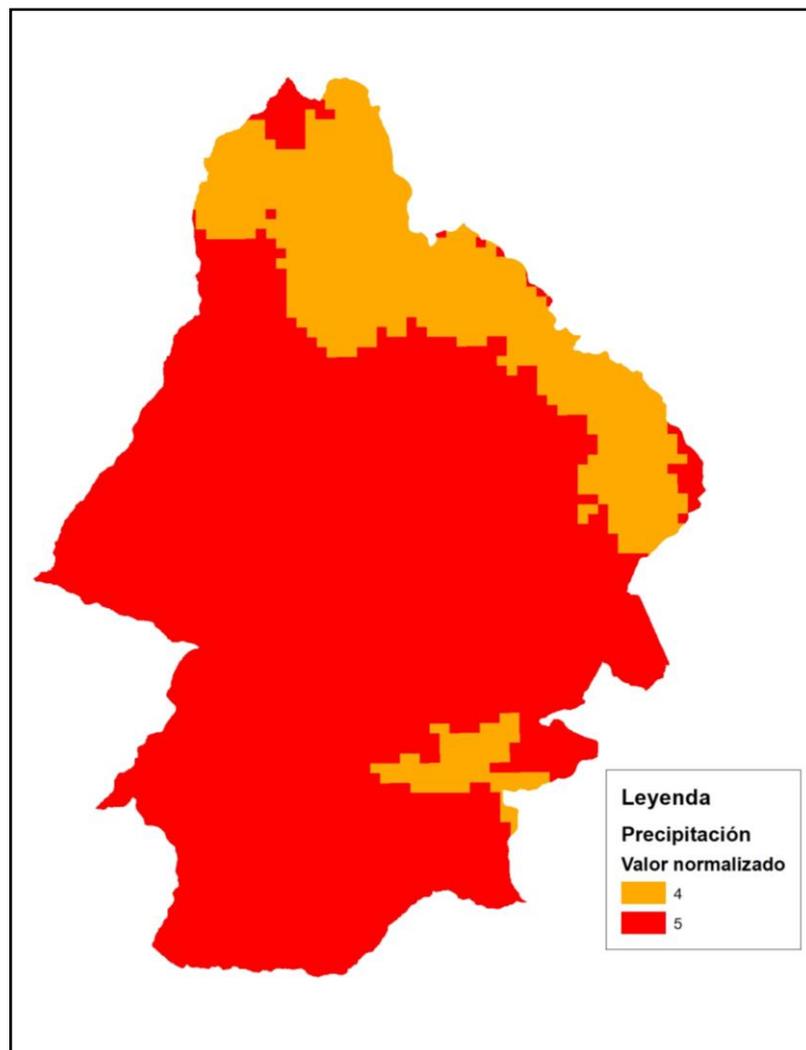
A. Figura de la cobertura vegetal con valores normalizados



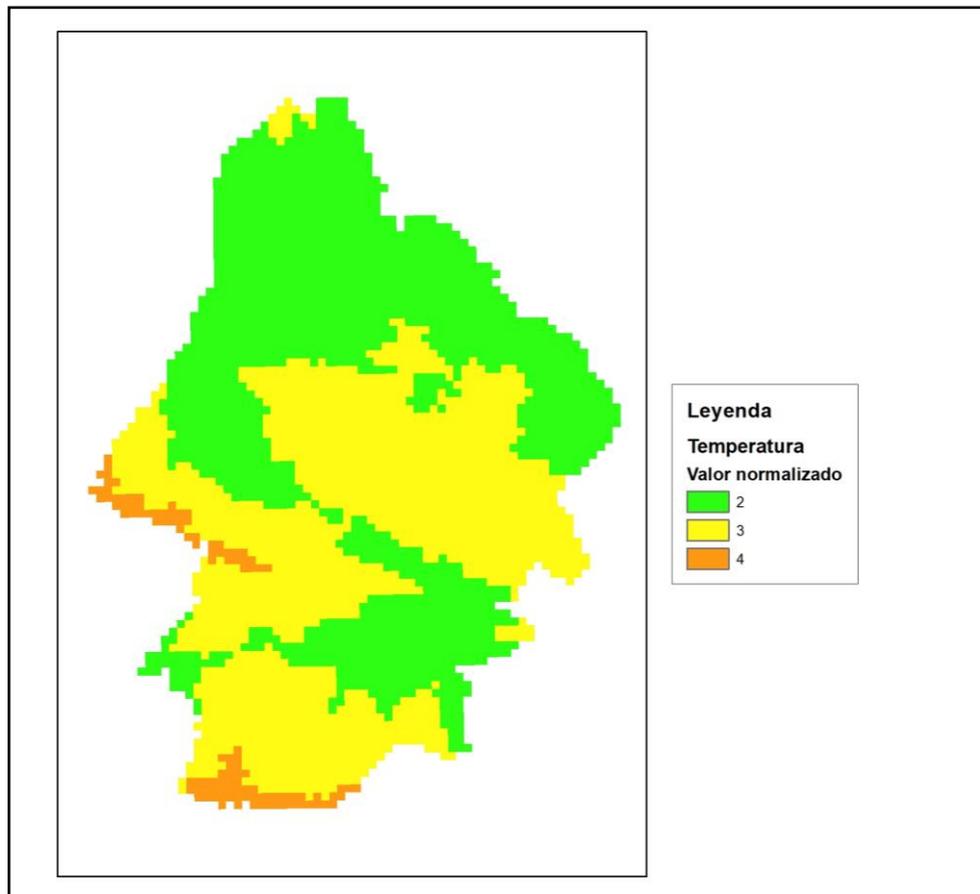
B. Figura de combustibilidad con valores normalizados



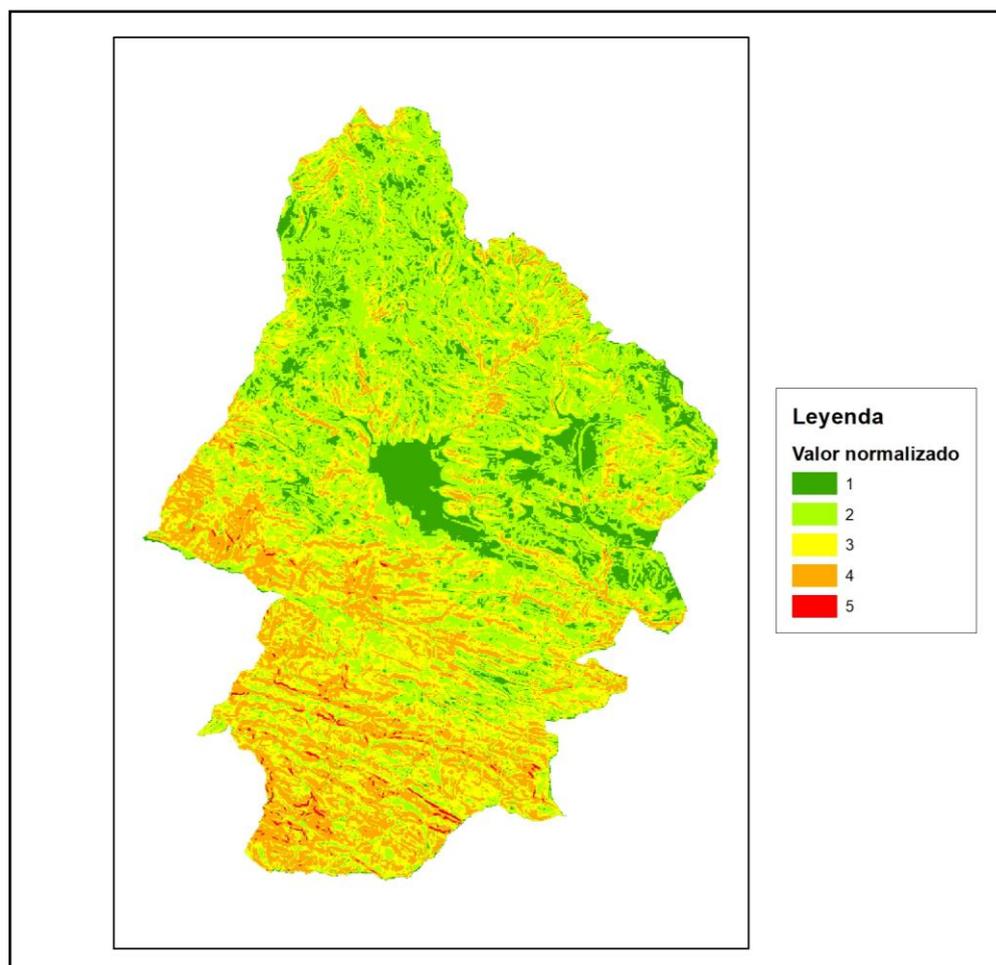
C. Figura de precipitación con valores normalizados



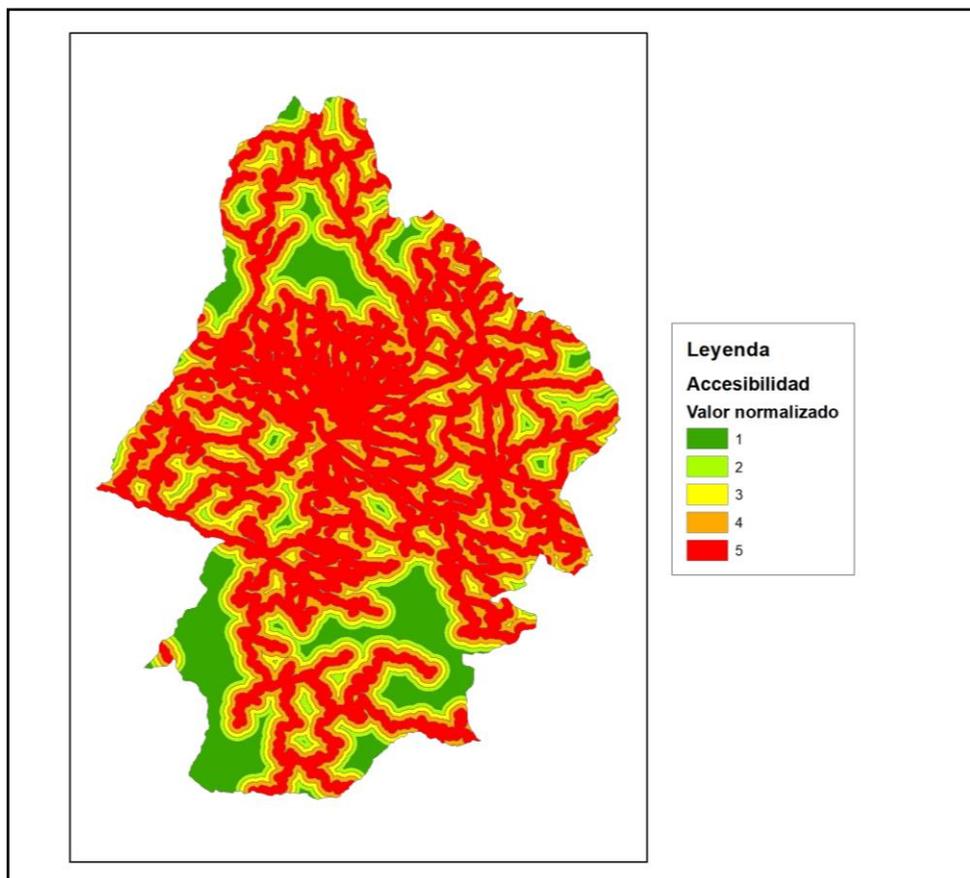
D. Figura de temperatura con valores normalizados



E. Figura de pendiente con valores normalizados



F. Figura de accesibilidad con valores normalizados



G. Figura de centros poblados con valores normalizados

